



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

Phys
2430.
1.25

Phys 2430.1.25

HARVARD COLLEGE LIBRARY

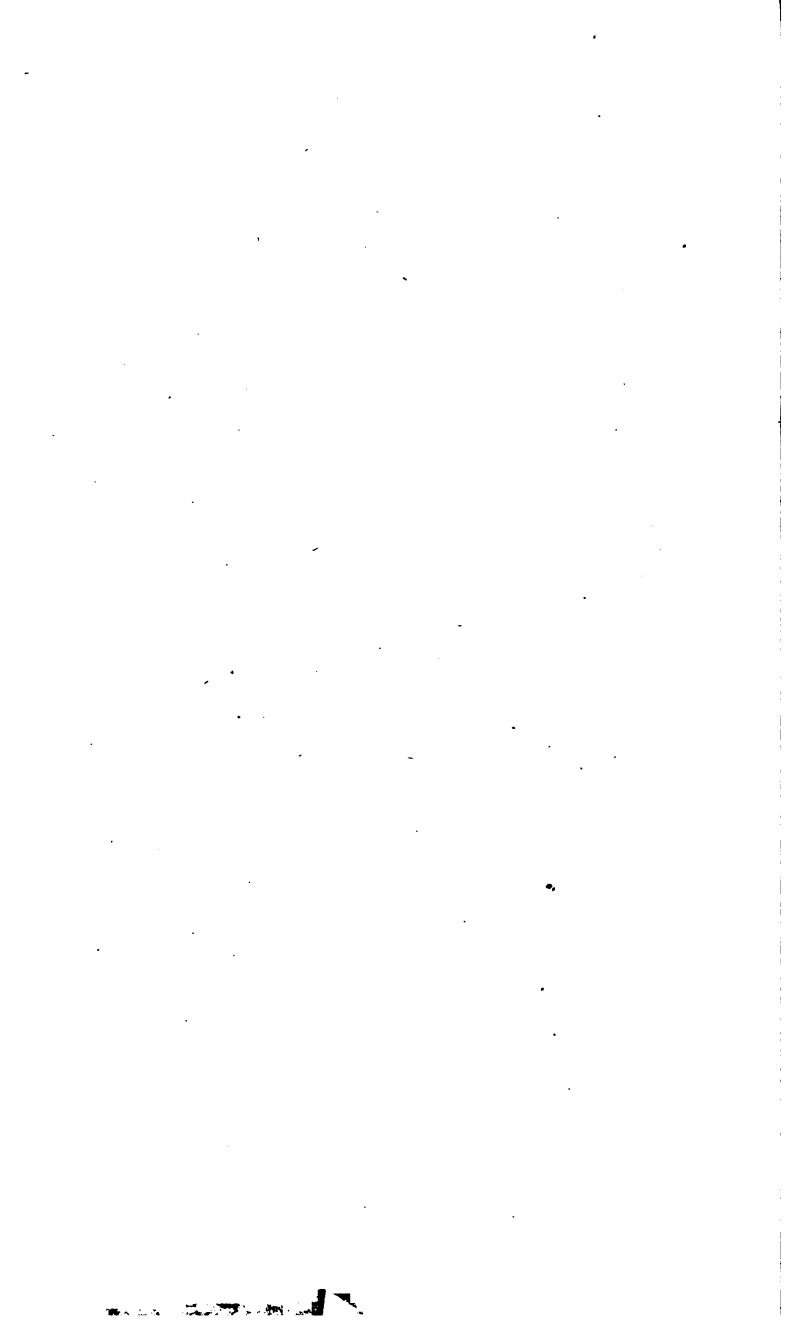


BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SCIENCE CENTER LIBRARY





CHALEUR ET FROID

124-72

PARIS. — TYPOGRAPHIE WALDER, RUE BONAPARTE, 44.

ENSEIGNEMENT POPULAIRE

CHALEUR ET FROID

SIX LEÇONS

FAITES DEVANT UN JEUNE AUDITOIRE

PENDANT LES VACANCES DE NOËL 1867

Par M. JOHN TYNDALL

De la Société royale de Londres,
Professeur de philosophie naturelle à Royal Institution,
Docteur en philosophie.

TRADUITES DE L'ANGLAIS

PAR M. L'ABBÉ MOIGNO

PARIS

AU BUREAU DU JOURNAL *LES MONDES*

32, RUE DU DRAGON

ET CHEZ GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

55, quai des Grands-Augustins

1868



Ces leçons élémentaires sur *la Chaleur et le Froid* sont une improvisation savante et heureuse, recueillie par un sténographe exercé, et dont l'éminent professeur a autorisé la publication, non sans une certaine hésitation. Loin de remplacer le beau traité sur *la Chaleur*, que je suis fier d'avoir traduit, et qui a eu un si grand retentissement, elles le feront ardemment désirer et le rendront comme nécessaire à tous les amis du progrès. Je les publie : d'abord parce qu'elles contribueront efficacement à populariser une grande somme d'idées neuves, saines et fécondes ; en second lieu, parce qu'un petit volume, à prix réduit, sur cette matière si importante, qui puisse être donné en récompense à leurs élèves, m'était instamment demandé par un grand nombre de professeurs de lycées, collèges, institutions, etc. Si je ne me fais pas illusion, à force d'étude et de patience, je suis parvenu à rendre la lecture de ces leçons facile et agréable. La traduction a été ébauchée en partie par M. l'abbé Raillard, en partie par M. Auguste Guiot, docteur ès sciences ; qu'ils acceptent mes remerciements.

Mes lecteurs apprendront avec joie que je tiens, complètement terminée, sur la quatrième édition anglaise de 1868, la seconde édition française du chef-d'œuvre : *La Chaleur considérée comme un mode de mouvement*. M. Gauthier-Villars la fera imprimer en caractères et sur papier de luxe. Elle paraîtra peu de semaines après le bel ouvrage sur *le Son*, du même auteur, dont l'impression, aussi de luxe, est à peu près achevée.

Paris, le 29 mai 1868.

L'ABBÉ F. MOIGNO.

LA CHALEUR ET LE FROID

SIX LEÇONS

FAITES A UN JEUNE AUDITOIRE

PENDANT LES VACANCES DE NOËL 1867

Par M. JOHN TYNDALL

PREMIÈRE LEÇON

Nature de la chaleur, et divers moyens de l'engendrer. — Frottement, percussion, combustion. — Changements de volume par l'action de la chaleur.

Il est un mot qui revient fréquemment dans vos conversations familières, et que sans doute vous prononcez plus de vingt fois par jour ; c'est le mot *je*. Vous dites journellement, par exemple : *je mange, je bois, je dors, je sens*, etc. Mais, peut-être, aucun de mes jeunes auditeurs, garçons ou filles, ne s'est-il encore avisé de se demander : Qu'est-ce donc que ce *je*, *qui fait tant de choses* ? Et si vous vous adressiez à l'homme le plus éminent, au plus profond philosophe de ce monde, si vous lui disiez : Qu'est-ce que ce *je* qui mange, qui boit, qui dort, qui sent ? Il serait lui-même extrêmement embarrassé pour vous répondre. En réalité, les philosophes, si éminents qu'ils puissent être, — et il est des philosophes

très-éminents, — reconnaissent que beaucoup de choses sont tout à fait au-dessus de leur science et de leur intelligence ; qu'il en est ainsi spécialement du *moi*, du *je*, dans lequel s'incarne l'étonnante créature humaine. Mais si nous ne savons rien de l'être qui mange, qui boit, qui fait usage de ses sens, nous avons beaucoup appris sur l'instrument qui lui sert à se mettre en relation avec le monde extérieur, et cet instrument est le merveilleux corps humain. Lorsque nous examinons ce corps, que nous scrutons ses organes intérieurs, nous trouvons des os, du sang, des muscles et des tissus de plusieurs sortes. Dans la substance de ces muscles, nous découvrons des cordons formés d'une matière blanche partant de la moëlle épinière et d'une masse spongieuse qui remplit la cavité si remarquable que nous appelons tête. Je parle de ces cordons blanchâtres qui se ramifient dans le corps et qui prennent le nom de *nerfs*. C'est par l'intervention de ces nerfs et de cet admirable cerveau que les êtres humains peuvent, en quelque sorte, converser avec le monde qui les entoure. La fonction des nerfs est en effet de transmettre au dedans les impressions du dehors. Si je me pique le doigt, un nerf est affecté : il est blessé par la piqure de l'épingle ou du canif, et il se charge de donner avis de l'événement au cerveau ; la nouvelle ou la dépêche expédiée parcourt le nerf sur toute la longueur du bras, et, tant qu'elle n'est pas arrivée à sa destination, le cerveau ne sent rien. Elle voyage d'ailleurs avec la vitesse d'environ 60 mètres par seconde, et cette vitesse est une des étonnantes choses que l'esprit humain a pu mesurer. Quand vous vous êtes piqué le doigt, vous ne le sentez donc pas au moment même de la piqure.

Or, ce que, dans tous les cas, les nerfs transmettent au cerveau est la nature du mouvement ; et pour que vous puissiez vous former une idée de ce mouvement, je ferai

une petite expérience, non sans avoir fait appel avant tout à une faculté dont sont doués tous les adolescents des deux sexes. Je veux parler de la faculté merveilleuse qu'on nomme ordinairement l'*imagination*, la puissance de peindre et de figurer les choses aux yeux de l'esprit. Je vous demande de considérer un de ces nerfs traversant le corps, aboutissant au cerveau, et de le supposer affecté d'une brûlure. Comment vous représenterez-vous sa constitution intime ? Il est formé de particules extrêmement petites, nommées *molécules* ou *atomes*. On confond quelquefois ces deux expressions *molécules* et *atomes*, bien que, dans le fait, une molécule soit une agrégation d'*atomes*. Mais le nom nous importe peu ; le fait sur lequel je dois insister, c'est, d'une part, que les nerfs sont composés de ces petites parties ; d'autre part, que si vous blessez l'extrémité d'un nerf, si vous le brûlez, si vous le piquez, vous ne faites pas autre chose que de lui imprimer un certain *mouvement*. Ce mouvement court le long du nerf, et lorsqu'il atteint le cerveau, il s'y manifeste cette fois sous la forme d'une douleur ; une autre fois ce sera sous forme de plaisir. Mais comment s'effectue le mouvement dont il s'agit ? Vous pouvez assimiler les nerfs aux fils télégraphiques qui circulent dans les rues de Londres ou par-dessus les toits de cette capitale, et considérer le cerveau comme une grande station centrale à laquelle les fils apportent les dépêches, ou de laquelle on les expédie. Ceci va devenir plus clair par une expérience très-simple que vous serez à même de répéter avec ces billes de verre qu'on emploie dans le jeu de *le solitaire*. Voici une série de semblables billes, elles vous feront parfaitement comprendre comment le mouvement se propage dans les nerfs, comment il se communique de molécule à molécule. Si je prends une bille, et que je la lance contre la première de la série, observez bien ce qui arrive. Le mouvement se transmet

à travers toute la série ; chaque bille le reçoit de celle qui la précède et le transmet à celle qui la suit ; et cette transmission successive va se continuant jusqu'à la dernière bille inclusive-ment. Voyez cette dernière bille se détacher et laisser toutes les autres au repos , comme si elle avait seule reçu le mouvement. A l'instant où je frappe la première bille , la dernière s'élance et prend sa course. C'est effectivement de cette manière, ou d'une manière analogue, que s'opère la propagation du mouvement dans les nerfs. Supposons que cette cloche représente le cerveau et qu'elle reçoive le choc de la dernière bille de la série : le son de la cloche sera comparable au signal qu'apporte au cerveau le mouvement du nerf. Dans notre expérience, le mouvement se communique de bille en bille, depuis la première jusqu'à la dernière, et celle-ci fait sonner la cloche ; dans le nerf, le mouvement est transmis de molécule à molécule, jusqu'au cerveau, où il se traduit par un sentiment de plaisir ou de douleur.

Maintenant que votre imagination vous représente assez bien ces groupements de molécules ou atomes qui composent les nerfs, je crois pouvoir aborder ce qui doit faire l'objet spécial de nos entretiens, les propriétés du puissant agent de la nature appelé *chaleur*. De longues méditations, des expériences nombreuses et délicates sur cet important sujet ont convaincu les savants, — les hommes instruits qui consacrent leurs veilles à la recherche de vérités nouvelles, — que la chaleur n'est, dans son essence, qu'une espèce de mouvement. Ici, je fais encore appel à la puissance d'imagination de mes jeunes auditeurs, je leur demande, et c'est beaucoup exiger, peut-être, de se représenter exactement ce que je vais décrire. Prenons un corps quelconque, par exemple celui que je tiens à la main. Ce corps, ainsi que nos nerfs, est composé de petites molécules ou atomes. Dans son état actuel, il n'est pas absolument froid. Je pourrais le trouver

froid pour ma main , mais il ne l'est pas en lui-même. Ses molécules constituanes sont dans un état de mouvement. Les molécules échappent à notre vue par leur petitesse , le meilleur microscope ne pourrait nous les faire voir, non plus que leurs déplacements, et cependant nous avons les plus fortes raisons de penser qu'elles sont actuellement animées d'un mouvement rapide de vibration. Toutes ces petites particules vibrent, oscillent successivement et rapidement en sens contraires ; retenez bien ce fait, que vos yeux intellectuels en aient la vue bien nette. Plus le corps est chaud, plus le mouvement vibratoire est intense , et, dans la réalité, c'est à ce mouvement moléculaire transmis du corps vibrant aux nerfs, et des nerfs au cerveau, que nous donnons le nom de chaleur. Bien qu'il s'agisse de faits qui touchent aux plus profondes théories de la science, j'ose espérer que mes auditeurs , malgré leur jeune âge, se feront une idée claire et vraie des assemblages de molécules qui composent les corps , des oscillations ou vibrations de ces molécules , et qu'ils admettront que la sensation éprouvée par ma main au contact d'un corps chaud est due à la multitude des petits mouvements de cette nature qui ont lieu dans le corps.

Cela posé, les mouvements de ces molécules peuvent être excités par divers moyens, et l'un des plus ordinaires est le frottement. Prenez, par exemple , ce bouton plat de laiton, frottez-le contre une pièce de bois, comme vous me le voyez faire, et bientôt vous l'aurez rendu assez chaud pour que vous ne trouviez plus aucun plaisir à le mettre en contact avec la peau de votre visage. C'est donc un fait acquis que le frottement fait naître dans ce bouton un mouvement calorifique assez intense pour nous faire éprouver une sensation de brûlure. Si, avant de frotter ce bouton, je le mets en contact avec un morceau de cire blanche , il reste immobile. Mais quand je le poserai de nouveau sur la cire après l'avoir

frotté, il la fera fondre, et cédera à l'entraînement de la matière liquéfiée par lui. Le frottement dégage de la chaleur dans une infinité d'autres circonstances. Par exemple, si vous prenez une scie et que vous vous mettiez à scier du bois, sans précaution, sans avoir pris soin de graisser la scie avant de lui faire attaquer le bois, le frottement développera une grande quantité de chaleur, la scie s'échauffera, elle deviendra tout à fait brûlante. Voici donc que la théorie nous explique le fait et nous fait comprendre la raison pour laquelle les charpentiers graissent leur scie avant de s'en servir. Le charpentier n'a nullement besoin d'engendrer de la chaleur; tout ce qu'il lui faut, c'est de faire pénétrer sa scie à travers le bois, en dépensant le moins de force possible, et il fait sa scie aussi douce qu'il le peut en la graissant. Il est donc bien établi, en principe et en fait, que le frottement est un moyen d'engendrer, de produire, de créer de la chaleur; et c'est un point très-important. Pendant longtemps on a pensé qu'il était impossible d'engendrer de la chaleur. On admettait qu'une certaine quantité de chaleur était répandue dans l'univers, que cette quantité de chaleur primitive ne pouvait être ni augmentée ni diminuée, et qu'elle était absolument invariable. Mais, comme vous le voyez, il nous suffit de mettre en mouvement les molécules des corps pour produire cet autre mouvement que nous appelons chaleur. Je ferai bientôt, à l'appui de cette vérité, une expérience fondamentale. Lorsque j'étais enfant, — et sans doute je ressemblais sous ce rapport à la plupart des autres enfants, — j'avais un goût passionné pour les sauvages et pour toutes les peuplades dont on nous a tant vanté les mœurs primitives. Aujourd'hui, mon plus grand désir serait, si cela était possible, d'être transformé pendant cinq minutes en indigène de la Nouvelle-Zélande. Si je l'étais, en effet, je vous rendrais témoins d'une belle expérience,

hélas ! au-dessus des forces d'un homme civilisé. Elle exige en effet une habileté que je n'ai pas et que ces sauvages possèdent seuls. Mon ami, sir John Lubbock, qui est en très-grande faveur auprès des sauvages, m'a fait présent de ces deux bâtons, véritable produit du sol-australien. L'un, d'un bois moelleux et presque mou, est percé de quelques trous ; l'autre, d'un bois plus dur, peut pénétrer dans les trous du premier. Pour en tirer du feu, le sauvage prend d'une main le premier bâton et le tient ferme ; de l'autre main, passant le second bâton dans un des trous du premier, il lui imprime une série de mouvements rapides, et continue cette manœuvre jusqu'à ce que le menu poussier produit par le frottement se soit assez échauffé pour présenter quelques points en ignition ; il souffle dessus avec une adresse que nous ne pourrions imiter, et parvient à faire du feu.

Mais je puis rendre plus frappant encore le mode de production de la chaleur par frottement. Voici un tube *b*, dans lequel j'introduirai un de ces liquides qui bouillent plus facilement que l'eau ; à la rigueur, je pourrais prendre de l'eau, mais je choisis l'éther, pour que l'expérience se fasse plus vite, et je vais essayer de faire bouillir ce liquide par le frottement. Vous voyez que, après l'introduction de l'éther, je ferme le tube par un bouchon ; je fixe ensuite le tube sur cet appareil, qu'on nomme *plateau à rotation*, au moyen duquel je puis faire tourner le tube sur lui-même avec une grande rapidité. Le tube tournant ainsi, je pourrais, en le serrant simplement dans ma main nue, déterminer le frottement nécessaire pour échauffer l'éther et le faire bouillir, et c'est ce que j'ai fait maintes fois ; par le seul frottement de ma main contre le tube j'obtenais effectivement l'ébullition de ce liquide, mais j'éprouvais dans la main une chaleur qui n'était nullement agréable et qu'il est tout naturel d'éviter. En conséquence, au lieu de ma main, j'ai recours

à une bande de flanelle fortement serrée contre le tube. Lorsque la chaleur aura mis l'éther en ébullition, la vapeur, par sa force élastique, fera sauter le bouchon, et cette petite

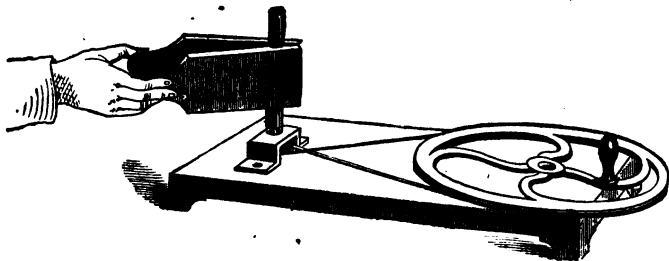


Fig. 1.

explosion témoignera du succès de l'expérience. (Après quelques secondes de friction, le bouchon saute au plafond.) Voilà donc un liquide que le frottement d'un morceau de flanelle contre le tube qui le contient a fait bouillir en moins d'une demi-minute. Voici un second tube et une certaine quantité de métal très-dur : je brise ce métal en morceaux et le mets dans le tube ; je n'ai pas voulu qu'il y fût mis d'avance, il faut qu'il soit introduit sous vos yeux et que vous ayez ainsi la certitude qu'il n'y a ni erreur ni supercherie. J'espère réussir à opérer la fusion de ce métal par le frottement ; je fais d'abord l'essai sur une petite quantité, me réservant de l'augmenter. Je bouche le tube hermétiquement, comme dans la première expérience, et, quand le métal sera fondu, je le verserai dans une assiette. (La rotation commence.) Je sens déjà la chaleur et je ne doute pas que le métal ne fonde promptement. (Le professeur examine l'intérieur du tube.) Oui, je puis ajouter du métal, afin d'avoir une plus grande quantité de métal fondu à ma disposition ; je le

verserai bientôt, mais, vous, prenez patience jusqu'au moment où tout sera liquéfié. J'introduis dans le tube tout le métal qu'il peut contenir, et je fais encore tourner la roue. Maintenant le tube est si chaud que je ne doute pas que le métal intérieur ne soit fondu. Il l'est, en effet ! J'ajoute un dernier morceau, que je retrouverai liquéfié par le frottement ; je bouche le tube afin d'éviter les éclaboussures. (Le tube tourne pendant quelque temps et il est enlevé à l'axe de rotation). Le métal, versé dans une soucoupe, est complètement fondu.

Parmi les autres moyens d'engendrer la chaleur, je citerai la percussion, qui consiste à frapper un corps avec un autre corps plus dur. Par exemple, voici un morceau de plomb, une balle ; je la place sur une enclume et je la bats à coups redoublés avec un marteau : elle devient si chaude que je ne puis la prendre et la tenir dans ma main ; elle me brûle. J'ai réellement créé cette chaleur ; je lui ai donné l'existence. En frappant la balle, j'ai fait naître dans ses molécules le mouvement vibratoire qui constitue la chaleur.

Comment pourrions-nous déterminer avec précision la quantité de chaleur produite par la percussion ? Voici, dans ma main, un morceau de plomb, et, sur le plancher, une plaque épaisse de fer. Si je faisais l'expérience, je ferais monter un de mes assistants au point le plus élevé de la voûte de cette salle, et le chargerais de laisser tomber de ce point le morceau de plomb sur la plaque de fer. La hauteur de la voûte est telle que le plomb, qui a déjà la température de la salle, gagnerait un surcroît de chaleur représenté par une élévation d'un degré dans sa température ; pardon, de faire usage ici de ce mot *degré*, dont la signification ne vous sera expliquée que dans notre prochaine séance. Il suffit de vous rappeler vaguement que, par la chute de ce morceau de plomb du sommet de la voûte sur la plaque de fer, sa

température serait élevée d'un degré. Si, au lieu de plomb, je faisais tomber, dans les mêmes circonstances, ce métal liquide qu'on nomme *mercure*, sa température s'élèverait aussi d'un degré ; mais, si c'était de l'eau, le résultat serait tout à fait différent. Ce ne serait plus d'une hauteur de 10 mètres, mais d'une hauteur de 257 mètres que l'eau devrait tomber pour acquérir ce même accroissement de température d'un degré. Vous comprendrez un peu plus tard cette différence entre l'eau et le plomb, ou entre l'eau et le mercure. En ce moment, contentez-vous de savoir que l'on sait déterminer exactement la quantité de chaleur engendrée par la chute d'un corps tombant d'une certaine hauteur sur un corps dur ; il nous en coûterait peu d'évaluer nous-même, par l'expérience, cette quantité de chaleur, si nous avions sous la main les instruments délicats qui nous seraient nécessaires. Plusieurs d'entre vous, sans doute, feront une excursion en Suisse, quand leur âge le permettra, et visiteront la célèbre chute de l'Aar, au point où les eaux de cette rivière tombent verticalement dans un précipice d'une hauteur qui peut être évaluée à 130 mètres. Eh bien, si vous placiez un thermomètre au sommet et un autre au pied de la chute, celui-ci, comparé au premier, accuserait un petit excédant de chaleur, à la condition, seulement, d'être assez sensible. D'ailleurs, connaissant la hauteur d'où elle tombe, il serait facile de calculer *a priori* la quantité de chaleur que l'eau développera dans sa chute.

Lorsque j'étais enfant, on ne connaissait pas encore, dans l'usage des armes à feu, les capsules à percussion, qui sont aujourd'hui si communes, et voici le petit appareil qu'on appliquait au fusil pour remplir le même objet. (Exhibition d'une ancienne batterie de fusil). Vous voyez, d'une part, cette pièce d'acier, et, d'autre part, ce morceau de silex ou caillou qui peut, par un mouve-

ment de bascule, tomber sur l'acier et le frapper. J'arme la batterie, je presse sur la détente; le silex vient frapper l'acier, et vous voyez jaillir des étincelles de feu. La batterie est fort ancienne et en assez mauvais état, mais la chute du silex sur la platine d'acier n'en a pas moins eu le pouvoir d'enflammer les molécules que la percussion détache du bassinet. Si nous mettons un peu de poudre dans le bassinet situé sous la platine, nous imiterons ce qu'on faisait autrefois avec tous les fusils connus. (La batterie est amorcée). Vous voyez que, en faisant jouer le chien ou en tirant sur la gâchette, je détermine l'inflammation de la poudre. L'ancien usage du briquet, pour obtenir du feu, usage conservé encore par les fumeurs, consiste, comme l'on sait, à recevoir sur un morceau d'amadou les étincelles nées du choc d'un briquet d'acier contre une pierre à fusil.

Demandons-nous actuellement ce que signifient ces expériences, et cherchons l'explication théorique des batteries de fusil. Vous avez vu qu'en frappant le plomb, on élève sa température. Un homme éminent, dont la parole retentissait souvent dans cette enceinte, il y a un certain nombre d'années, sir Humphry Davy, fit jouer une batterie de fusil dans un espace clos, privé d'air, et, en l'examinant ensuite, il trouva d'abord que le choc du métal contre le silex avait eu pour effet de détacher de petits globules d'acier; puis, par un examen plus attentif, que ces globules étaient fondus. La chaleur engendrée par la percussion avait donc été assez considérable pour porter les particules d'acier détachées presque à la température blanche. Lorsque l'acier et le fer sont portés à une aussi haute température, ils sont attaqués par une certaine substance contenue dans l'air environnant; il est important que vous connaissiez le nom de cette substance et que vous le conserviez dans votre mémoire : on la nomme *Oxygène*. A une température assez

élevée, le fer ou l'acier sont donc immédiatement attaqués par l'oxygène avec lequel ils sont en contact. Au sujet de cet oxygène, j'ai à vous demander un nouvel effort d'imagination : il faut que vous vous représentiez ce gaz comme formé d'une infinité de petites parties ou molécules disséminées dans l'air. Lorsque le fer ou l'acier sont à une haute température, ces molécules d'oxygène se précipitent sur le métal et le frappent si violemment qu'il en résulte une véritable percussion ; le choc, à son tour, engendre de la chaleur, et assez abondamment pour élever la température jusqu'au rouge blanc. Je vais vous prouver qu'il en est réellement ainsi. J'ai sous la main tout ce qui est nécessaire pour produire une flamme de dimensions considérables, et j'ai fait installer dans le sous-sol un soufflet alimenté d'oxygène. Mon aide va descendre ; il mettra en jeu le soufflet ; un courant d'oxygène arrivera par le tube, et vous verrez jaillir la puissante flamme dont j'ai besoin. Vous verrez que, soumises à l'ardeur de cette flamme, des particules de fer ou d'acier s'enflammeront spontanément. Je prends de la limaille de fer, je la jette sur la flamme, et vous la voyez projeter partout de brillantes étoiles de lumière. Le fer est brûlé ; et ce que j'avais affirmé a reçu sa consécration. Les particules de fer ont été d'abord échauffées comme elles le sont par le jeu de la batterie de fusil ; et, lorsqu'elles ont été échauffées, l'oxygène s'est jeté sur elles avec tant de force qu'elles ont jailli sous forme d'étincelles. La force, de nature quelconque, qui détermine l'union de l'oxygène et du fer, s'appelle attraction ou affinité chimique ; je n'ai pas ici à rechercher sa nature, mais seulement à vous faire voir et constater le scintillement des molécules de fer à une haute température, sous l'influence de l'oxygène de l'air. Ce merveilleux élément de l'air, cet oxygène, ne forme qu'une petite partie de l'atmosphère, le cinquième environ.

Vous concevrez sans peine que si l'atmosphère était entièrement chargé d'oxygène, les effets de combustion dont vous venez d'être témoins seraient beaucoup plus considérables. J'ai ici de l'oxygène pur, obtenu par des procédés spéciaux, et je vous prie de constater combien cet oxygène pur surpasse en énergie, dans son action sur les corps, l'oxygène de l'atmosphère. J'allume un brin de bois sec par son extrémité, puis je souffle sur la flamme pour l'éteindre ; il reste seulement quelques points en ignition, et vous constatez que l'air ambiant n'a pas le pouvoir de faire renaître la flamme. Mais si je plonge ce brin de bois dans de l'oxygène pur, voyez ce qui arrive : la couleur rouge des points en ignition devient plus vive, et une flamme brillante s'y développe ; voilà un des caractères distinctifs de l'oxygène pur. J'obtiendrais le même résultat avec une allumette en papier ou tout autre combustible, voir même le fer. Je vais engendrer une nouvelle flamme avec un mélange d'oxygène et d'un autre gaz appelé *Hydrogène* ; et, avec elle, je forcerai l'oxygène à brûler, non plus seulement du papier et du bois, mais de l'acier. L'aide, qui est actuellement près des soufflets, va nous envoyer d'abord un jet d'hydrogène ; je l'allume, et vous voyez naître une flamme qui n'a presque pas d'éclat : celle de l'hydrogène. Mon aide m'envoie maintenant un courant d'oxygène ; tout est arrangé pour que ce courant s'ajoute au courant d'hydrogène avant que j'y mette le feu ; j'allume le jet d'hydrogène et d'oxygène mélangés, la flamme se rappetisse et devient moins intense, mais sa chaleur est excessive : j'y plonge le ressort d'acier fortement chauffé, et voyez comme elle le fait évanouir en le consumant. L'oxygène est en pleine lutte avec le métal. Si je supprime l'hydrogène, il ne reste que de l'oxygène froid ; mais lorsque l'acier a été assez fortement échauffé, la force qui précipite les molécules d'oxygène sur le métal suffit

pour produire ce merveilleux effet de combustion. (Le ressort de montre continue à brûler dans l'oxygène.) Nous sommes donc entré en possession d'un troisième moyen d'engendrer la chaleur. Nous avons d'abord le frottement, moyen si efficace que nous avons pu l'employer à fondre des métaux. Nous avons vu, en second lieu, que la chaleur est aussi engendrée par la percussion mécanique ordinaire, comme dans le cas où l'on bat du plomb à coups de marteau. Et maintenant, aidé de votre puissance d'imagination, vous comprenez, je l'espère, que l'union de l'oxygène au fer ou à l'acier est également un cas de percussion violente. A la vérité, il s'agit ici d'une percussion de molécules et non d'une percussion de masses plus ou moins considérables. Si vous m'avez suivi, il n'est pas une de mes paroles que vous n'ayez dû parfaitement comprendre. Vous pouvez vous représenter ces molécules d'oxygène tombant comme des grêlons, mais avec une force terrible, sur la surface du fer. Vous pouvez voir par les yeux de l'esprit ces molécules qui échappent aux yeux du corps, et c'est là surtout ce que je désirais, ce sera le succès spécial de mes efforts dans cette conférence.

J'ai sous la main un grand nombre de flacons pleins d'oxygène; mais je ne puis pas m'arrêter à vous faire beaucoup d'expériences avec ce gaz, quelque importance qu'il ait; je me borne à une seule, qui présente un intérêt historique particulier. Le grand Newton, dans le cours de ses recherches sur l'optique, étudia les propriétés réfringentes et dispersives du diamant, et fut amené à conclure que cette pierre précieuse, la plus dure de toutes les matières connues, était une substance onctueuse analogue à la cire et à la graisse. Oui, longtemps avant que l'expérience l'eût prouvé, Newton, par un effort d'esprit vraiment extraordinaire, entrevit et affirma que cette belle pierre était une

substance combustible, et je tiens à vous prouver qu'il était dans le vrai. Voici un petit diamant (les gros diamants sont très-chers, et un petit suffit à notre objet) ; je vais d'abord élever sa température à l'aide de cette flamme très-chaude que j'ai sous la main ; après l'avoir chauffé, je le plongerai dans ce flacon plein d'oxygène, et vous verrez qu'il brillera comme une étoile. Peut-être cependant que la flamme d'hydrogène ne pourra pas l'échauffer assez ; essayons.

Voici qu'en effet le diamant brûle sous vos yeux. Et que pensez-vous qu'il devienne ? Comment croyez-vous que les choses se passent ? Il est entouré de molécules d'oxygène, et ces molécules tombent sur le diamant comme une grêle ; elles le frappent avec une telle force qu'il s'échauffe jusqu'à devenir lumineux et resplendissant.

Dans tous les cas de chaleur engendrée que nous avons considérés, nous avons appelé à l'existence une chaleur qui n'existait pas ; cette chaleur, je le répète, est une espèce de mouvement moléculaire ou atomique que nous pouvons faire naître au sein des corps en opérant comme nous l'avons indiqué.

Maintenant que vous avez une notion générale de ces divers modes de production de la chaleur, je vais consacrer quelques instants à rechercher avec vous, non sans faire un nouvel appel à votre imagination, comment la chaleur affecte les corps.

Vous voyez en avant cette table les préparatifs d'une expérience destinée à vous donner une idée de sa merveilleuse puissance. Représentez-vous les molécules d'un corps qui s'échauffe graduellement comme animées d'un mouvement vibratoire de plus en plus intense. Quelle sera la conséquence naturelle de ces vibrations sans cesse croissantes ? Les molécules s'écarteront de plus en plus les unes des autres, le corps occupera plus d'espace, ce qui revient à

dire que le volume des corps augmente avec leur température. Voici un fil de platine tendu en ligne droite, attaché par l'une de ses extrémités à un point fixe, s'enroulant par sa seconde extrémité sur la circonférence d'une roue, et se terminant par un poids qui produit sa tension. Dans cet état, il est clair que si le fil vient à se raccourcir, il force le poids à monter et la roue à tourner dans un certain sens ; si, au contraire, le fil s'allonge, le poids descendra et fera tourner la roue en sens contraire. Une aiguille implantée sur l'axe de la roue sert à indiquer, sur une échelle agrandie, les variations de longueur du fil. Il s'agit maintenant de le chauffer. Quel moyen vais-je employer à cet effet ? Un moyen tout à fait étranger à notre sujet actuel, mais dont je me propose de vous parler un jour. Il est dans le sous-sol de cette salle une puissance qui nous enverra la chaleur nécessaire sous la forme de ce qu'on appelle un courant électrique. Sous l'influence de ce courant, le fil s'échauffe ; en s'échauffant il s'allonge, et son allongement entraîne la rotation de l'aiguille. Je suspends le courant, la source de chaleur n'existe plus pour le fil de platine ; en conséquence il se refroidit ; par le refroidissement il se contracte, et nous voyons la contraction indiquée par un mouvement rétrograde de l'aiguille.

Une autre expérience va vous montrer comment la chaleur opère pour dilater les corps. Voici deux barres, l'une de fer et l'autre de cuivre ; vous voyez en avant de la table un petit appareil dont vous comprendrez immédiatement la signification ; il a pour organe essentiel une hélice de platine dont vous saurez bientôt la fonction ; mais je tiens avant tout à vous montrer à quel point nous pouvons échauffer le fil de la dernière expérience, en augmentant la force de notre courant électrique. Ce courant, comme je l'ai dit, vient d'une pile placée à l'étage

inférieur, et que j'espère avoir le plaisir de vous expliquer dans quelque autre occasion. Mon préparateur va m'envoyer un courant puissant, et vous verrez ce fil porté au rouge sur toute sa longueur. (Le courant électrique parcourt le fil). Le fil de platine est maintenant d'un rouge éclatant, et l'aiguille marche avec une très-grande rapidité. Si je diminue la longueur du fil que parcourt le courant, je diminuerai par là même la résistance qu'il rencontre sur son passage, et il passera dans la longueur réduite une plus grande quantité d'électricité qui a pour résultat d'élever considérablement la température. Constatons en passant un fait important. Ne vous semble-t-il pas que le fil est devenu beaucoup plus gros qu'il ne l'était; depuis qu'il est chauffé au rouge, vous lui donneriez le volume d'un tuyau de plume. Mais ce grossissement n'est qu'apparent, c'est l'effet que produit sur nos yeux une vive lumière. Un corps lumineux et brillant paraît toujours plus gros qu'il ne l'est, et, de plus, le diamètre apparent du fil est plus grand pour ceux de vous qui en sont les plus éloignés, que pour moi qui le regarde de beaucoup plus près. Cette seule particularité suffit à prouver qu'il s'agit ici d'une illusion d'optique, effet nécessaire de ce qu'on nomme l'*irradiation*. Si je raccourcis encore la portion du fil parcourue par le courant, elle se brise, fondue par l'excès de la chaleur.

J'appelle maintenant votre attention sur cette petite hélice ou spirale C. Aux supports A, B sont fixés deux équerres en cuivre p et p' , sur lesquelles reposent par leurs extrémités deux barres, l'une de cuivre et l'autre de fer. Ces barres, à présent, ne sont pas assez longues pour toucher les deux supports, mais je vais les chauffer; elles s'allongeront; lorsqu'elles seront assez dilatées pour arriver en contact avec les deux supports, il passera un courant électrique, et, en s'illuminaut, la spirale C, faisant l'office d'une voix intelli-

gente, nous avertira que les deux supports sont effectivement atteints au moins par l'une des barres. J'allume donc les becs de gaz placés au-dessous des barres trop courtes actuellement, j'attends un moment, et voici que la spirale est devenue incandescente.

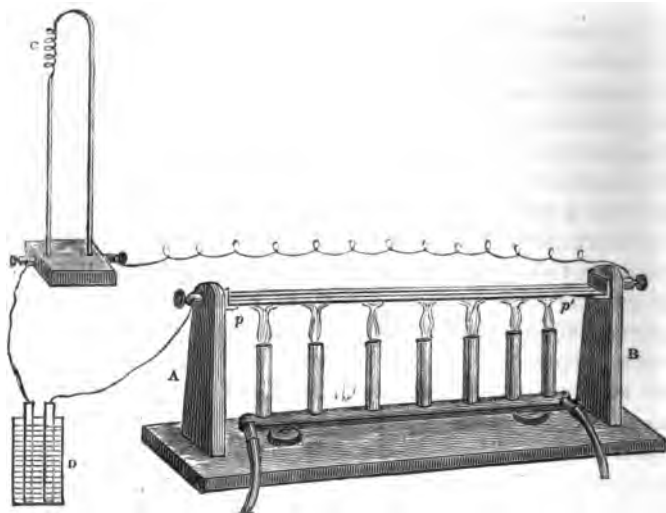


Fig. 2.

Si j'enlève la barre de cuivre, la spirale redevient obscure; c'était donc le cuivre qui unissait les deux supports; il s'est donc plus dilaté que le fer.

En général, c'est par la mise en jeu de semblables artifices que la science expérimentale ou théorique va faisant sans cesse de nouveaux progrès. Vous voyez sur le parquet un appareil non moins ingénieux que le précédent, mais plus délicat dans sa construction et doué d'une sensibilité

incomparablement plus grande. Il a été conçu pour divers usages, et notamment pour mesurer la dilatation des corps par la chaleur. Vous le comprendrez presque immédiatement à la vue du dessin tracé sur le tableau noir, et où il est réduit à ses organes essentiels.

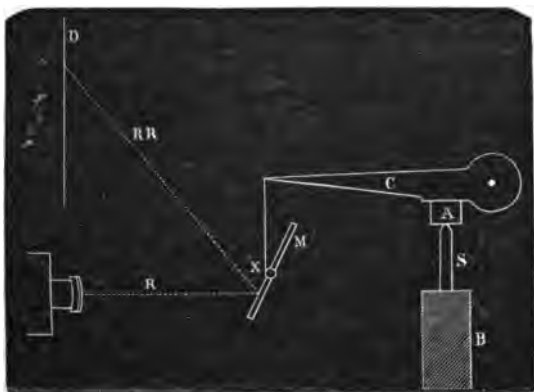


Fig. 3.

La partie inférieure B du dessin représente l'extrémité supérieure d'un bloc de plomb de forme allongée dont on veut mesurer la dilatation. Sur ce bloc pose une petite tige S en cuivre, terminée par une pointe en contact avec une pierre dure, une agate, par exemple, A. Si le bloc vient à s'allonger de bas en haut, il poussera la tige dans le même sens, et la tige pressera l'agate. Qu'en résultera-t-il ? Vous voyez au-dessus un levier dont le bras C appuie sur l'agate, en même temps qu'il peut tourner autour d'un axe représenté sur la figure par un point noir. La poussée produite par un petit allongement de la barre fait parcourir un espace beaucoup plus grand à l'extrémité du bras de ce levier. Un fil d'acier

très-fin, fixé par un de ses bouts à cette extrémité, descend verticalement et va s'enrouler autour d'un axe X, auquel est fixé un petit miroir M. Ce miroir reçoit un faisceau lumineux R, qui peut être considéré comme un simple rayon. On voit sur la gauche de la figure la tête de l'appareil d'où sort le rayon. A la rencontre du miroir, le rayon se réfléchit suivant RR et vient tomber sur un écran D. Cela posé, quand la barre s'allongera, l'extrémité du bras sera soulevée, le miroir tournera autour de l'axe et prendra une nouvelle position ; mais à mesure que le miroir tournera, le rayon réfléchi tournera avec une vitesse double de celle du miroir. Dans cette expérience, au lieu d'être une aiguille, l'index est un long rayon de lumière. Aussi notre nouvel instrument est-il le plus sensible dans ses indications de tous ceux inventés dans le même but. Cela posé, observez bien ce que je vais faire. Je ne toucherai pas à cette pesante masse de plomb ; je ne la chaufferai pas avec une flamme ; je soufflerai simplement sur elle, et la chaleur de mon haleine dilatera assez le métal pour que, grâce à la sensibilité extrême de l'appareil, il en résulte sur l'écran un déplacement de la trace lumineuse.

(Le professeur souffle sur la barre de métal, et le disque lumineux se déplace sensiblement en s'abaissant.)

Je vais maintenant faire l'expérience inverse, je vais rafraîchir la barre en y jetant quelques gouttes d'eau qui la refroidiront, et vous constaterez que la barre se contractera en se refroidissant, par ce fait que le rayon de lumière va monter rapidement au sommet de l'écran.

Bornons ici ce que nous avons à dire des effets de cette cause merveilleuse appelée chaleur. Arrivons aux moyens de la mesurer, à la construction et à l'emploi des thermomètres, etc.

DEUXIÈME LEÇON

Changement de volume (*suite*). — La force de la chaleur. — Comment on mesure la chaleur. — Thermomètres. — Ébullition de l'eau.

J'appelle d'abord votre attention sur ce que mon préparateur va faire en avant de la table. Voici une bombe à parois très-épaisses que mon ami, M. le professeur Abel, de Woolwich, a eu la bonté de me procurer. On la remplit d'eau ; on ferme l'ouverture par un bouchon à vis et on la plonge dans ce baquet, plein d'un mélange réfrigérant de glace pilée et de sel ; je veux, si je le puis, faire éclater cette bombe. N'ayez aucune crainte ; son explosion ne fera de mal à personne. Après que mon préparateur aura recouvert avec soin la bombe du mélange de glace pilée et de sel, nous la laisserons là pendant une demi-heure ou trois quarts d'heure, non sans avoir défendu la surface du baquet, par une couverture de laine, de l'influence contraire de l'air chaud de la salle ; et après avoir placé à côté de la bombe ces deux bouteilles de fer et cette bouteille de plomb remplies elles-mêmes d'eau. Elles subiront aussi l'action du mélange réfrigérant, et nous examinerons ce qui arrivera lorsque l'eau contenue dans ces bouteilles et cette bombe viendra à se congeler. Il faudra sans doute une demi-heure au plus pour produire

une action sur la bombe, parce qu'elle contient un grand volume d'eau; mais peut-être que le froid agira plus promptement sur les bouteilles de fer, cependant très-épaisses. Nous avons fait la même expérience, avant la leçon, dans la cour de l'institution; il n'a fallu qu'une demi-heure pour solidifier l'eau et faire éclater la bombe : les fragments que vous voyez sur la table sont le résultat de notre essai. Voyez combien ces morceaux sont épais. Espérons que la bombe de notre baquet nous fera le plaisir d'éclater avant la fin de la séance; mais, dans le cas où elle ne voudrait pas se briser, ces fragments vous diront assez l'effet que j'ai voulu produire. (Au moment où l'on s'y attendait le moins, l'éclat de la bombe a révélé le succès de l'expérience, et l'on a trouvé que les bouteilles avaient été brisées de même par la congélation de l'eau.)

Revenons un instant sur notre dernière leçon. J'ai fait alors une entreprise quelque peu hardie; et, j'en suis sûr, plusieurs de mes auditeurs plus âgés ont pensé que je visais trop haut, en voulant vous faire comprendre des choses par trop difficiles. J'ose croire qu'ils se trompent. Dans ma conviction, vos jeunes intelligences sont très-aptés à saisir les effets de l'agent appelé par nous chaleur, sinon aussi parfaitement, du moins *presque aussi* exactement que je les saisis moi-même, et c'est pourquoi je tiens, autant qu'il est possible, à vous faire voir ce que je vois quand je pense et quand je parle sur la chaleur. Voilà pourquoi j'ai d'abord appelé votre attention sur le mouvement moléculaire qui se produit quand on frappe un morceau de plomb. Vous vous souvenez qu'après avoir placé un morceau de plomb sur une enclume, je l'ai battu à grands coups de marteau, et que de cette manière j'ai produit de la chaleur. Partant de la percussion, j'en suis venu à ce que nous appelons combustion, et je vous ai invité à la considérer comme quelque

chose de presque identique avec l'action du marteau sur le plomb. Je vous ai dit que la combustion des corps avait pour cause première la présence dans notre atmosphère du gaz appelé oxygène ou air vital. Quand certains corps sont chauffés, cet oxygène se jette sur eux avec une telle force que le choc a pour résultat ou effet de les brûler. Telle est, en réalité, la théorie de la combustion. Si l'on enlève l'oxygène de l'espace où un corps brûle, on voit aussitôt la combustion cesser. Pour vous le prouver, je prends cette bougie et je la mets sous cette cloche, appelée *réceptif* d'une machine pneumatique; elle brûle sous le réceptif presque comme elle brûlait dans l'air; cependant, si je la laissais continuer de brûler, la quantité d'oxygène renfermée dans le réceptif diminuerait peu à peu par le fait même de la combustion de la bougie, et la flamme s'éteindrait aussitôt que l'oxygène serait épuisé. Je vais rendre l'épuisement plus rapide en faisant jouer la pompe pneumatique, et en raréfiant l'air qui entoure la bougie. Vous remarquerez que la flamme ira en s'affaiblissant de plus en plus. (On fait jouer la pompe.) Déjà la flamme perd de son éclat : elle est très-faible maintenant. Une nouvelle action du piston la rend tout à fait pâle; mais j'introduis un peu d'oxygène dans le réceptif, et la flamme reprendra aussitôt son éclat. (On fait entrer de l'oxygène dans le réceptif.) Elle est, en effet, plus brillante qu'elle ne l'était auparavant. Si je fais de nouveau le vide en enlevant l'oxygène, j'enlèverai les molécules qui, maintenant, tombent comme une pluie sur la matière combustible de la bougie; ces molécules enlevées, la flamme, vous le voyez, devient de plus en plus languissante; et, enfin, si je continue à épuiser le réceptif, j'éteindrai naturellement la flamme, parce que, dès que les petites molécules d'oxygène cessent de pleuvoir sur elle, elle devient un effet sans cause et disparaît. Je vais de nouveau intro-

duire de l'air avant que la flamme soit tout à fait éteinte. (A cet instant la bougie cesse de brûler.) Ah ! il est trop tard , la flamme s'est évanouie ; mais rappelez-vous que, au moment où elle allait s'éteindre, elle était excessivement faible; elle me rappelait la flamme des bougies que j'ai vues brûler à de très-grandes hauteurs , au-dessus de la surface de la terre. Il y a quelques années, M. le docteur Frankland et moi nous avons passé toute une nuit au sommet du mont Blanc; nous y avons couché, et nous y avons brûlé un certain nombre de bougies de même composition que celle-ci ; au retour, nous en avons fait brûler de nouveau à Chamounix. L'air, au sommet de la montagne, était très-rare, très-peu dense, et il était curieux de voir l'effet produit par cet air raréfié sur la flamme des bougies. C'était précisément la flamme de la bougie placée dans le vide et prête à s'éteindre. Chose étrange ! la quantité de stéarine (matière dont sont faites les bougies) consumée en une heure, au sommet de la montagne, était exactement égale à celle qui était consumée en bas. Il n'y a réellement pas eu de différence sensible, malgré l'énorme inégalité dans l'éclat des flammes. Mais, c'est assez parler de combustion.

Je tiens cependant à vous dire quelques mots de la composition de la flamme, cette belle et merveilleuse entité. Si vous examinez de près la flamme d'une bougie, vous remarquerez que, dans une certaine région, elle est plus lumineuse qu'ailleurs : dans cette portion, la flamme donne aussi sa plus grande chaleur. Si vous allumez deux bougies semblables à celle-ci, et que vous regardiez la flamme de l'une à travers le centre de la flamme de l'autre, vous verrez très-facilement l'une à travers l'autre à une grande distance ; mais, si la région à travers laquelle vous regardez est la portion très-brillante de la flamme, cette portion brillante interceptera presque totalement la vue de l'autre bougie. La

lumière de la seconde bougie ne peut pas traverser la portion de la flamme de la première bougie dont l'éclat est le plus grand. Il y a donc là quelque chose qui arrête la lumière de la seconde bougie. Quel est ce quelque chose ? En le cherchant, nous arriverons à découvrir la composition de l'être charmant que nous appelons flamme. La bougie, vous le savez, est formée d'une mèche centrale entourée d'une matière grasse combustible. Nous allumons la mèche ; la chaleur liquéfie la matière grasse ; non-seulement elle la liquéfie, mais elle la distille ou la fait passer à l'état de vapeur ou de gaz. La bougie engendre réellement son propre gaz d'éclairage. Cette vapeur s'élève verticalement de la bougie, et, comme elle est échauffée et entourée des molécules de l'oxygène de l'air, elle est immédiatement attaquée par ces molécules ; les molécules d'oxygène se précipitent sur elle, et ce qui se montre à nos regards sous forme de lumière et de chaleur est le résultat de cette collision. Permettez-moi d'ajouter encore quelques mots. J'ai parlé de la vapeur de la matière grasse de la bougie. Cette vapeur est un hydrocarbure composé principalement de deux substances distinctes : d'hydrogène, un gaz, et de carbone ordinairement solide, mais qui, dans des circonstances données, passe aussi à l'état gazeux ; ces deux substances, unies entre elles, constituent la matière grasse de la bougie. Maintenant, écoutez-moi bien, je vous en prie, et vous saurez la structure intime de la flamme de la bougie. La vapeur est attaquée par l'oxygène ; mais l'oxygène aime mieux l'hydrogène que le carbone : il s'empare donc d'abord de l'hydrogène et met en liberté les petites molécules solides de carbone de l'hydrocarbure. Ces molécules de carbone sont la suie que vous voyez apparaître quelquefois dans la flamme d'une bougie qui brûle mal et fume, par exemple, d'une chandelle non mouchée. Vous voyez ici, effectivement, de la

fumée. Si la combustion était parfaite, toute cette fumée brûlerait, et les molécules de charbon seraient élevées à la température de la chaleur blanche. Dans la région spéciale de la flamme qui donne l'intensité maximum de lumière, vous avez, en effet, une multitude de ces particules solides de carbone chauffées au blanc par la température intense de la flamme ; mais ces molécules de carbone sont brûlées à leur tour, et les produits de la combustion passent dans l'air à l'état de gaz. Telle est la structure de toutes les flammes : d'abord, un noyau intérieur de gaz ou de vapeur non brûlée ; puis, tout à l'entour, l'oxygène de l'air se précipitant sur la vapeur chaude, brûlant son hydrogène, rendant incandescentes les molécules de carbone, et formant ainsi une sorte d'enveloppe lumineuse autour du noyau intérieur.

Si, quand les particules de carbone sont échauffées et séparées de l'hydrogène de la manière que je l'ai dit, l'oxygène vient à se jeter sur elles et à les saisir, on n'a plus cette lumière intense qui caractérise la flamme des bougies ou du gaz d'éclairage. Voici une lampe construite par un de mes amis, M. le professeur Bunsen, d'Heidelberg ; vous voyez qu'elle brûle avec très-peu de lumière. La raison est que, en faisant entrer l'air par des ouvertures qu'il a ménagées autour du tube central, M. Bunsen force l'oxygène à se mêler au gaz avant que celui-ci ne soit enflammé, et que l'action de cet oxygène détruit entièrement les molécules de carbone qui sont la cause principale de la lumière de la flamme. Si j'intercepte l'air, le gaz sort seul, sans mélange d'air, et vous voyez qu'aussitôt la lumière augmente considérablement d'éclat. Dans la bougie, les molécules de carbone restent un instant suspendues dans la flamme ; elles sont élevées à la température de la chaleur blanche avant que l'oxygène les saisisse, et l'on a ainsi une bien plus grande quantité de lumière que quand l'oxygène s'empare

d'elles au moment même où elles sont mises en liberté.

La combustion que je viens de vous faire voir est une combustion très-vive ; il est une autre espèce de combustion appelée combustion lente. Par exemple, quand l'oxygène de l'air attaque le fer, il produit cette rouille rouge de fer que vous connaissez tous ; c'est une combustion de même nature que celle qui se produit au sein de la flamme des bougies. Lorsqu'on fit le premier câble atlantique, on l'enferma, pour le protéger, dans une enveloppe de fer, et l'on constata que, sur une grande longueur de ce câble, la température s'était élevée très-haut, si haut qu'elle avait altéré la couche isolante de gutta-percha. Cet excès de température avait pour cause unique la combustion lente, la rouille du fer ou son oxydation, car c'est le nom qu'on donne à l'action de l'oxygène sur le fer. Le fer a brûlé lentement, la chaleur ne pouvait pas se dissiper, parce que le câble était trop gros, et il en est résulté que sa température s'est élevée au point de devenir nuisible. M. Siemens a inventé un très-bel instrument avec lequel on peut s'assurer à l'avance que les câbles résisteront à la chaleur causée par l'oxydation du fer. Dans notre propre corps, il se produit une combustion analogue à celle d'une bougie qui brûle. Nous prenons des aliments ; ces aliments, élaborés par l'estomac, sont introduits dans le sang ; nous respirons l'oxygène de l'air, cet oxygène arrive en contact avec les aliments entraînés par le sang : les aliments sont brûlés lentement, en donnant naissance à un dégagement de chaleur. La chaleur de nos corps provient toute de cette combustion lente.

Vers la fin de la dernière leçon, j'ai passé à l'examen de ce que produit la chaleur. Son effet ordinaire, comme je vous l'ai dit, est que les corps sont dilatés par elle. J'ai fait quelques expériences pour le prouver ; j'en ai fait une avec un très-bel appareil construit pour moi par M. Becker, qui

multipliait par mille le mouvement produit, pour que vous pussiez voir la dilatation née du contact de ma simple haleine, quand je soufflais sur une masse de plomb. Je tiens maintenant à vous montrer les étonnantes énergies de la force qui fait dilater les corps, et de la force opposée par laquelle les corps se contractent. Les forces qui rapprochent les molécules d'un corps qui se refroidit sont véritablement énormes. Je vais le prouver par une expérience que vous comprendrez en jetant un regard sur ce modèle. Je place dans un trou, à l'extrémité de ce barreau de fer, un petit morceau de bois ; vous voyez les deux extrémités du morceau de bois reposer sur les deux bords du barreau ; si je pousse le barreau, je brise le morceau de bois. Vous remarquez qu'il se courbe d'abord et qu'ensuite il se rompt. Voici maintenant ce que je vais faire : je vais substituer à ce morceau de bois un morceau d'acier ; je fixe perpendiculairement à ce morceau , en son milieu , un barreau de fer chauffé au rouge, et je visse ses deux extrémités solides à deux appuis. Le barreau se refroidira, et la contraction sera assez forte , je pense , pour rompre le morceau d'acier comme j'ai rompu le morceau de bois. Vous voyez que la construction de cet appareil en fer est toute semblable à celle du modèle. Je vais hâter le refroidissement en versant un peu d'eau sur le barreau de fer. (Au bout de quelques secondes, le morceau d'acier s'est cassé avec bruit.) Il a été réellement rompu par la force avec laquelle les molécules du barreau de fer se sont rapprochées les unes des autres, lorsque le refroidissement a fait cesser le mouvement de chaleur qui les éloignait. Cette force, je le répète , a une énergie vraiment effrayante.

Avant de passer à l'étude de la dilatation par la chaleur de corps autres que les corps solides, je serais bien aise d'expliquer , pour ceux de mes auditeurs plus âgés, et non pas pour les plus jeunes, car la chose serait peut-être un

peu trop difficile pour eux, la signification d'un terme employé souvent dans les livres qui traitent de la chaleur. Supposons que vous ayez un morceau de plomb de 3 510 centimètres de longueur, et que vous élevez d'un degré la température de ce plomb, vous trouveriez que sa longueur a passé de 3 510 à 3 511 centimètres. C'est-à-dire qu'il s'est allongé d'un 3511 millième. C'est la fraction de sa longueur dont le plomb se dilate quand la température s'élève d'un degré. Cette fraction est ce qu'on appelle le *coefficient de dilatation* du plomb. Ce coefficient de dilatation est dans plusieurs corps plus petit qu'il ne l'est dans le plomb. Pour le fer, par exemple, il n'est pas la moitié de celui du plomb. Cette différence impose aux architectes et aux ingénieurs l'obligation de ne pas unir des métaux dont les coefficients de dilatation soient tellement différents que leur dilatation inégale puisse amener des déformations, des dislocations, peut-être même des ruptures. Voici, par exemple, une règle dont l'un des côtés est en cuivre et l'autre côté en fer; quand elle est chauffée, comme le cuivre se dilate plus que le fer, elle se courbe ou se bombe. Si donc, dans une même construction, on associait des métaux très-inégalement affectés par les changements de température, l'édifice serait en péril; les architectes ont soin de ne pas l'oublier.

Passons à l'étude de la dilatation des liquides par la chaleur. De ces trois bouteilles, l'une contient de l'eau, la seconde de l'alcool, la troisième du mercure, métal liquide. Cette boule surmontée d'un tube contient aussi du mercure. Si je la prends dans la main, le mercure intérieur se dilate, et cette dilatation le force à monter dans le tube. Je tiens à rendre visible à tous les regards, si je le puis, le mouvement ascensionnel du mercure, produit par l'élévation de température de la boule, et dans ce but je vais projeter sur un écran l'image agrandie du tube. La voici, vous voyez tous

l'image renversée *ii* de la colonne *tt'* de mercure, produite par la lentille *L* placée en avant de la lampe *E*, et vous constaterez, je l'espère, que, quand je chaufferai la boule, la colonne *ii* descendra au bas de l'écran par suite de la dilata-

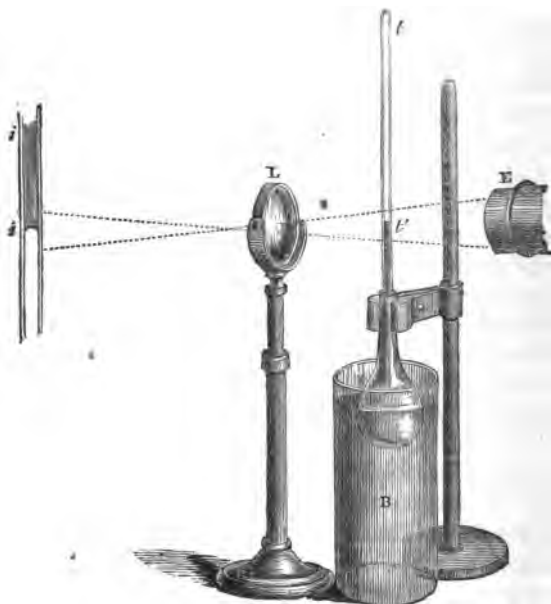


Fig. 4.

tion du métal liquide. En réalité la colonne de liquide monte, mais elle vous paraîtra descendre, parce que l'image est renversée. Je fais plonger la boule dans de l'eau chaude, et vous voyez se produire le mouvement que j'ai annoncé. Je prends maintenant une boule contenant de l'alcool, liquide bien plus dilatable que le mercure. Mon préparateur

l'a coloré en bleu pour qu'il se détache mieux sur l'écran que s'il était resté incolore. La portion qui sur l'écran se montre colorée est l'image de la colonne liquide. Sous la première impression de la chaleur, il semble que la colonne liquide se contracte au lieu de se dilater. Cette contraction apparente vient de ce qu'au moment où l'on plonge la boule de verre contenant l'alcool dans l'eau chaude, le verre se dilate avant l'alcool et augmente de volume, ce qui force la colonne liquide à s'abaisser un instant, mais cet abaissement cesse aussitôt, et le liquide bleu monte dans le tube bien plus rapidement que ne le faisait le mercure. Je pourrais prendre d'autres liquides et vous rendre témoins des mêmes effets ; mais le moment est venu d'aborder la question de la dilatation des gaz.

Vous comprendrez en un instant que les gaz sont capables d'être dilatés par la chaleur. Par exemple, voici (fig. 5) un ballon vide F auquel j'adapte un tube, et dont l'extrémité débouche dans un bassin au-dessous de la colonne de liquide *tt*. La colonne de liquide est soutenue par une force que les aînés de mon jeune auditoire savent être la pression de l'atmosphère sur la surface du liquide du bassin. Maintenant si je viens à chauffer le ballon, la chaleur fera dilater l'air ; il traversera le tube et montera avec force dans la cloche *tt* ; l'eau descendra, et je pourrai ainsi, je pense, faire passer l'air du ballon dans la cloche remplie d'abord d'eau. Regardez, voici que les bulles d'air s'élèvent et font descendre la colonne liquide. Cet effet est dû à la dilatation par la chaleur de l'air contenu dans le ballon, et je pourrais continuer de le produire de manière à faire passer dans le tube presque tout l'air du ballon.

Cette expérience m'amène à vous montrer l'instrument appelé *thermomètre à air*, et qui est destiné à mesurer la chaleur par le moyen de la dilatation de l'air. Il est formé

en haut d'une boule pleine d'air, en communication avec une colonne liquide dont le sommet atteint actuellement une certaine hauteur. Si je pose ma main sur la boule, le liquide

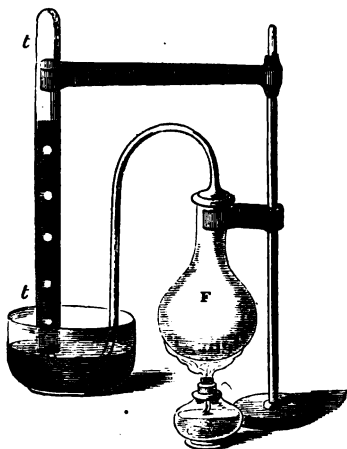


Fig. 5.

descend. La chaleur de ma main fait dilater l'air, et force ainsi la colonne liquide à descendre.

Avant d'aller plus loin, il faut que j'explique en deux mots l'expression un peu barbare que je viens d'employer. Je me suis servi du mot « *thermomètre*, » qui veut dire *mesureur de la chaleur*. En prenant cette boule pleine de mercure, avec le tube qui lui est soudé, j'ai voulu me ménager une transition pour vous parler du *thermomètre ordinaire*. Si vous prenez cette boule de mercure et que vous la plongiez dans de la glace fondante ou dans de l'eau qui se congèle, en un lieu quelconque de la surface de la terre, vous trouverez toujours que la colonne de mercure s'arrête exactement

à la même hauteur, de sorte que cette température de la formation de la glace ou de sa fusion est la même partout. Nous avons ici, pour ainsi dire, un point fixe de température ou une température étalon. En plongeant donc notre boule de mercure dans de la glace fondante, nous aurons le point de congélation de l'eau. Plongeons-la ensuite dans de l'eau bouillante sous une même pression barométrique ; la hauteur à laquelle la colonne s'élèvera dans ces conditions sera aussi la même par toute la terre ; le sommet de la colonne de mercure indiquera le second point fixe de l'ébullition de l'eau.

Nous avons trois sortes différentes de thermomètres. Il y a d'abord le thermomètre de Fahrenheit. Pour le construire, Fahrenheit se servit d'un mélange de glace et de sel, qui lui donnait un froid beaucoup plus grand que celui de la glace seule. Il pensa que c'était le plus grand froid qu'on pût obtenir ; il prit en conséquence cette température pour le zéro de son échelle, et compta ses degrés à partir de ce zéro, qui représentait la température du mélange de glace pilée et de sel. Il passa au point de congélation de l'eau, qui se trouva à 32 degrés au-dessus de son zéro. Il marqua ensuite le point d'ébullition de l'eau ; puis divisa la distance entre le point de congélation et le point d'ébullition de l'eau en 180 parties égales ou degrés. Ces 180 divisions ajoutées aux 32 premières portent à 212 le nombre des degrés au-dessus de zéro du thermomètre Fahrenheit, le point d'ébullition de l'eau. Le second thermomètre, généralement employé par les savants, et je voudrais qu'il le fût par tout le monde, est connu sous le nom de thermomètre centigrade. Il a été inventé par Celsius, et on le nomme quelquefois thermomètre de Celsius. Ici la distance entre le point de congélation et le point d'ébullition de l'eau est divisée en 100 parties égales ou degrés. La troisième sorte de thermomètre est connue sous le nom de Réaumur. Son échelle est très-

arbitraire, et cependant on l'emploie beaucoup en Russie. La distance entre les points de congélation et d'ébullition est divisée seulement en 80 parties. Dans ces trois thermomètres différents, Réaumur, centigrade et Fahrenheit, les degrés sont entre eux dans les rapports des nombres 4, 5 et 9. Cela suffit pour que vous compreniez la signification des mots *thermomètres* et *degrés*, dont je m'étais servi en passant.

Je voudrais bien maintenant vous montrer de l'air chaud. Vous ne le verriez pas en le regardant directement dans l'atmosphère, mais je puis rendre sa présence manifeste au moyen d'un expédient auquel je vais avoir recours pour rendre visible à tous les yeux le courant d'air chaud qui s'élève d'un corps élevé à une haute température. Fixez les yeux sur cette spatule fortement chauffée. Si vous la regardez directement, vous ne pourrez rien voir qui en émane; mais mon préparateur va lancer sur elle un faisceau de lumière électrique, et vous regarderez l'ombre qu'elle projettera sur cet écran blanc. Vous voyez maintenant au-dessus de l'image de la spatule un torrent d'air chaud qui s'élève de sa surface à une température élevée, mais qui restait complètement invisible quand on regardait la spatule à la manière ordinaire.

Mais j'ai à vous montrer un autre courant d'air chaud en même temps que je vous initierai à l'invention d'un homme éminent, Montgolfier. Il conçut le premier l'idée de faire entrer un courant d'air chaud dans un ballon, et de faire en sorte que le ballon fût emporté dans l'air. De la cheminée de ce fourneau sort un flot d'air chaud. Vous remarquez par l'effet produit sur l'écran avec quelle force ce courant s'élève. Voici un ballon de papier, et je vais y faire entrer la colonne d'air chaud. Si je réussis, le ballon se remplira peu à peu d'air très-dilaté, et nous aurons répété la célèbre expérience de Montgolfier. Vous voyez les flancs du ballon

se gonfler par l'air chaud qui s'accumule dans son sein. Je vais le lâcher, et j'ose annoncer qu'il s'élèvera. Le voilà parti. Il n'est pas monté aussi haut qu'il aurait dû le faire, mais il a fait assez de chemin pour nous donner une idée du ballon de Montgolfier.

On trouve, dans le cas des corps solides ou liquides, que la dilatation est extrêmement irrégulière, ou que le coefficient de dilatation varie beaucoup d'un corps à l'autre ; mais, ce qui est étrange (et je voudrais vous en donner la raison, je voudrais vous dire pourquoi), le coefficient de dilatation est essentiellement le même pour tous les gaz parfaits. Si l'on prend un volume d'air de 490 centimètres cubes, et qu'on élève sa température d'un degré, ce volume sera de 491 centimètres cubes, de sorte que $\frac{1}{490}$ ou un 490^{me} est le coefficient de dilatation de l'air ; et ce coefficient, ainsi que je l'ai dit, est presque exactement le même pour tous les corps gazeux, quels qu'ils soient.

J'appelle maintenant votre attention sur quelques expériences relatives à l'action de la chaleur sur les liquides ; et, dans ce but, j'ai disposé un appareil (fig. 6) que mon préparateur va placer à votre portée, à l'extrémité de la table. Je ferai bouillir l'eau de ce ballon F, et je vous montrerai ce que l'on entend par la vapeur d'eau. Nous soumettrons donc à l'action de la chaleur ce ballon, dans lequel on a versé une certaine quantité d'eau, et, au bout de quelques instants, vous verrez l'eau entrer en ébullition. Je désire que vous compreniez bien ce que c'est que cette ébullition. Écoutez ce qui se passe actuellement dans le ballon. L'eau est chauffée. A mesure que la chaleur acquerra de l'intensité, le frissonnement, le frémissement, le mouvement vibratoire de l'eau deviendra de plus en plus intense, et ses molécules, détachées de la surface supérieure, seront emportées dans l'espace. Après quelques instants, l'eau commence à bouil-

lonner. Les bulles de vapeur montent; la surface du liquide commence à céder de ses molécules à l'air. Chaque centimètre carré de la surface de cette eau supporte une pression d'environ 3 kilogrammes, et la pression exercée sur chacune

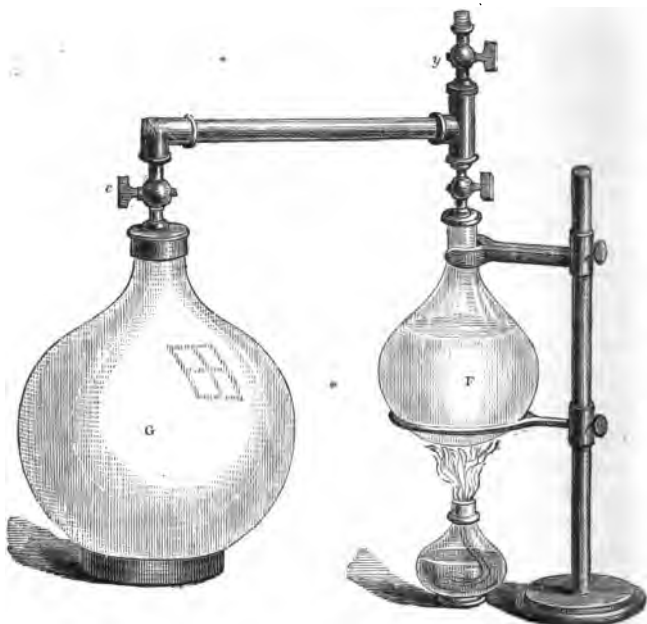


Fig. 5.

de ces bulles de vapeur est d'un grand nombre de grammes. Pourquoi ces bulles ne crèvent-elles pas? tout simplement parce que la pression de la vapeur qu'elles renferment est exactement égale à la pression extérieure de l'atmosphère; de sorte que la pellicule liquide, pressée de dehors en dedans

par l'air, de dedans en dehors par la vapeur, se maintient sans se rompre. Si l'on diminuait la pression de la vapeur intérieure, la bulle serait écrasée par la pression de l'atmosphère. Le point d'ébullition d'un liquide est précisément la température à laquelle la pression de la vapeur de ce liquide est égale à la pression de l'atmosphère. Maintenant, en tournant le robinet *y*, j'emprisonne dans le ballon ce qu'il contenait d'eau chaude, et vous voyez qu'elle est redevenue tout à fait calme : la vapeur, au sein du ballon, presse sur la surface du liquide ; mais, si je viens à supprimer cette pression, je suis sûr que l'eau entrera de nouveau en ébullition. Comment le ferai-je ? Mon premier ballon est en communication avec un autre grand globe d'où l'on a extrait l'air au moyen d'une machine pneumatique ; l'intérieur du grand globe est vide d'air. Si donc je tourne le robinet *c*, placé entre le ballon et le globe, j'ouvrirai passage à la vapeur du ballon, qui quittera la surface de l'eau et s'élancera dans le vide. Observez ce qui arrive. Le liquide est soulagé de la pression qui s'exerçait sur lui, l'eau recommence à bouillir, et le petit ballon se remplit de nouveau de vapeur d'eau ; en même temps, les parois du grand globe ruissellent d'eau ou de vapeur condensée. Mais un autre curieux moyen de faire bouillir l'eau, quand le ballon sera près de son point d'ébullition, c'est le froid. Nous arroserons d'eau froide la partie supérieure du ballon ; nous condenserons ainsi la vapeur qui presse sur la surface du liquide ; et, après avoir soulagé ainsi l'eau de la pression qu'elle supportait, nous la verrons bouillir. Voici un vase en verre mince contenant de l'eau et de la vapeur d'eau, qui a pris, en le chassant, la place de l'air qui le remplissait d'abord. Mon préparateur l'a installé sous vos yeux ; je retire la lampe qui le chauffait, et je prétends faire bouillir l'eau qu'il contient en mettant un morceau de glace en contact avec sa surface

supérieure. La glace est en place et l'eau bout, en effet. comme ceux qui sont près du vase peuvent s'en assurer. Pourquoi ? Parce que la vapeur qui pressait la surface de l'eau est condensée, et que, la pression supprimée, l'ébullition recommence. Si l'on mettait une plus grande quantité de glace sur le vase, l'eau bouillirait avec plus de force ; mais la pression atmosphérique pourrait le briser, parce qu'elle ne serait plus contre-balancée par la pression, devenue très-faible, de la vapeur intérieure. (La rupture n'a pas eu lieu, parce que le vase était percé d'un petit trou ; on a recommencé l'expérience, au commencement de la troisième leçon, et elle a réussi.)

J'arrive maintenant à l'étude de la vapeur d'eau. Voici les deux éléments de l'eau ou les deux gaz dont l'eau est formée. Je vous montrerai d'abord que l'un de ces gaz est inflammable ; nous l'appelons hydrogène. Mon préparateur va prendre de l'hydrogène réellement extrait de l'eau par sa décomposition, pardonnez-moi cette expression savante. Le voici. Je prends le tube qui le contient, l'ouverture en bas, parce qu'il est extrêmement léger, et qu'il s'échapperait si je ne tenais pas le tube renversé. Je mets le feu à cet hydrogène, et vous voyez ce qui arrive. C'est un gaz combustible : le voilà qui brûle avec flamme au sommet du tube. Mon préparateur va m'apporter un autre gaz, le second élément constituant de l'eau, c'est notre cher oxygène, le gaz vital, qui fait brûler avec un si grand éclat les corps en ignition qu'on y plonge. Je fais pénétrer dans le vase qui le contient ce petit morceau de bois dont la pointe est encore enflammée. Qu'en résulte-t-il ? (Le bois allumé donne aussitôt une flamme brillante.) Ce gaz est donc la seconde substance dont l'eau est composée.

Je vais prendre maintenant mes deux gaz, non plus séparés, mais mêlés ensemble. Voici un instrument merveil-

leux (une pile galvanique) qui me fournit le moyen de décomposer les molécules d'eau et de séparer l'un de l'autre l'oxygène et l'hydrogène dont elles sont formées. Mon préparateur va mettre l'eau du vase en communication avec la pile, et nous ferons dégager, dans de l'eau de savon, les gaz provenant de l'eau décomposée, de manière à obtenir des bulles pleines à la fois d'oxygène et d'hydrogène. (Le professeur met dans le creux de sa main un groupe de bulles et les fait éclater en approchant une bougie allumée.) Comment vous représenterez-vous l'acte de la combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène ? tout simplement en les voyant des yeux de l'esprit se précipitant l'un sur l'autre, dans un choc violent, puis vibrant, c'est-à-dire avançant et reculant tour à tour, en vertu de leur élasticité. Autant que je puis le comprendre, la lumière qui accompagne l'explosion est produite par le choc des particules d'oxygène et d'hydrogène elle a pour cause immédiate la chaleur énorme engendrée par ce choc. Cette chaleur est si grande que les molécules d'eau produites restent pendant quelque temps à l'état de gaz invisible. L'eau est composée d'oxygène et d'hydrogène dans les proportions de deux molécules d'hydrogène pour une molécule d'oxygène ; c'est-à-dire que deux molécules d'hydrogène unies à une molécule d'oxygène forment ce qu'on appelle une *molécule d'eau*.

Il est nécessaire que je vous explique la différence entre une vapeur et un gaz invisible. Cette salle est remplie de vapeur invisible ; pour le prouver, avant la leçon, j'ai placé ici un vase contenant une substance excessivement froide, un mélange réfrigérant ; et le givre qui le recouvre à l'extérieur est dû simplement à la condensation de la vapeur aqueuse dégagée par la combustion du gaz d'éclairage et la respiration des personnes ici présentes. Cette vapeur, condensée à la surface froide du vase rempli du mélange réfrigérant,

s'est ensuite congelée ou solidifiée sous forme de gelée blanche. Le brouillard, au contraire, que vous avez osé traverser jeudi dernier pour venir m'entendre, n'était pas de la vapeur véritable : il était formé de gouttelettes d'eau. Vous voyez ici quelque chose de tout à fait semblable. Le nuage qui sort de ce vase n'est pas de la vapeur, mais bien de l'eau très-divisée provenant de la vapeur qui se refroidit et se précipite ; mais, si je fais passer le nuage à travers cette flamme, il se convertira en vraie vapeur. La vapeur est tantôt un gaz, tantôt un liquide. (On fait passer un jet de vapeur à travers la flamme, et l'on constate qu'elle devient complètement invisible.)

Après quelques instants, ce nuage se refroidira et tombera à l'état d'eau, et si l'on refroidit cette eau encore davantage, les particules mettront en jeu une nouvelle force, une nouvelle puissance que je veux vous montrer en exercice ; mon but est de vous rendre témoin de cette action merveilleuse qui détermine la cristallisation. Quand on refroidit de l'eau suffisamment, elle passe à l'état de glace, comme chaque enfant le sait. Cette glace est une des choses les plus admirables qui existent à la surface de la terre, et, dans une autre leçon, disséquant avec vous un morceau de glace, je vous ferai voir combien elle est étonnante. Le phénomène que je veux reproduire est analogue à celui que manifestent les vitres de nos appartements lorsque, considérablement refroidies pendant les nuits d'hiver, elles se sont recouvertes de dessins comparables aux plus belles végétations de la nature. Je prends cette feuille de verre, je verse à sa surface une solution de sel commun, et je la laisse en repos : l'eau seule s'évaporerait ; le sel restera adhérent et cristallisé à la surface du verre. Vous pouvez faire très-facilement l'expérience chez vous, en versant un peu de solution de sucre sur du verre ; en la laissant tranquille dans une position hori-

zontale, l'eau s'évaporerait et le sucre resterait cristallisé. Pour que l'expérience soit plus brillante, j'aurai recours à une autre substance. Je dois d'abord rendre parfaitement nette la surface du verre; je le fais en la lavant avec de l'eau de soude ou de potasse; je la recouvre ensuite d'une solution, non de sucre ni de sel, mais de quelque chose qui me donnera des cristaux bien plus beaux que ceux du sel ou du sucre. Je prends donc ce liquide, contenant en solution une certaine espèce de sel, et je le verse sur la plaque de verre. Je ferai évaporer devant vous l'eau qui tient le sel en dissolution, et vous verrez avec quelle rapidité, avec quelle régularité ce sel cristallisera. (On projette sur l'écran une image de la lame de verre mouillée. Des cristaux commencent à paraître au bout de quelques secondes et s'étendent graduellement sur toute la surface de la lame.) Voyez avec quelle magnificence les cristaux se forment; voyez-les s'ajouter les uns aux autres d'une manière merveilleuse pour dessiner sous vos yeux ces végétations si belles : ce sel est du ferrocyanure de potassium. Prenons une autre lame de verre et recouvrons-la, de la même manière, d'une solution de chlorhydrate d'ammoniaque; chauffons la lame pour que la chose aille plus vite. (L'image de cette lame a été aussi projetée sur l'écran, et l'on a obtenu un résultat semblable à celui de l'expérience précédente.) Comme ces cristaux courent avec grâce! On dirait des pointes de lance animées d'une grande vitesse. C'est une expérience qu'on répète cent fois et qui frappe toujours d'étonnement. Comme chaque sel prend admirablement les formes qui lui sont propres!

Encore un mot. Je dois vous dire que, en passant de l'état liquide à l'état solide, en se groupant pour former ces beaux cristaux, certains corps, comparativement peu nombreux, augmentent de volume. L'eau est un de ces corps, et c'est

pour cette raison que la glace flotte sur l'eau. Quand l'eau gèle, elle se dilate avec une force énorme. La bombe que j'ai mise dans le vase qui est devant vous a éclaté, comme vous le voyez, par la force d'expansion de l'eau dans l'acte de sa congélation.

TROISIÈME LEÇON

Vents et brises. — Glace, neige et glaciers. — Les geysers d'Islande.

Je vous ai montré, dans notre dernière leçon, les changements qui s'opèrent dans l'eau quand elle se refroidit graduellement ; je vous ai rendus témoins de ce fait si remarquable, que l'eau arrivée à la température de sa congélation et qui se transforme en glace, se dilate à ce point que sa force de dilatation est capable de faire éclater une bombe. Je vous demande encore un instant d'attention sur cette partie de notre sujet. Concevons de l'eau à la température ordinaire et devenant de plus en plus froide. Ainsi que la plupart des autres corps, en se refroidissant, elle se contracte ou se réduit à un volume de plus en plus petit ; mais, en marchant ainsi vers la congélation, elle arrive à un point où elle cesse de se contracter. Si, par exemple, elle est partie d'une température de 15° à 16° centig., elle se contracte jusqu'à ce qu'elle ait atteint la température de 4° ; et, si le refroidissement continue encore, au lieu de se contracter, on la voit se dilater sans interruption jusqu'à sa conversion en glace. Maintenant, quelles seront les conséquences de cette dilatation ? A mesure que la température descend au-dessous de 4°, l'eau devient plus légère ; elle surnage, comme

l'huile, à la surface de l'eau dont la température est de 4°, et là s'opère sa congélation ; mais à ce moment, c'est-à-dire lorsqu'elle passe de l'état liquide à l'état solide, il se produit brusquement une dilatation tellement considérable que huit volumes d'eau pèsent à peu près le poids de neuf volumes de glace. Aussi voit-on les glaçons flotter à la surface des rivières et de la mer.

Suivez-moi maintenant dans l'étude de quelques faits qui se rattachent à cet important sujet de la chaleur. Vous savez que, sur certaines parties de la surface de la terre, la chaleur est beaucoup plus intense qu'en Angleterre ; vous savez aussi que cela provient de ce que, dans ces régions du globe, le soleil monte jusqu'au zénith, et que ses rayons, tombant alors verticalement, échauffent d'une manière plus directe la surface du sol ou des mers. Sous l'équateur ou dans les contrées voisines de l'équateur, les rayons du soleil tombent d'aplomb sur la tête des habitants. Dans cet état de choses, représentons-nous le soleil versant sa chaleur sur l'Océan, à travers l'atmosphère. La surface des eaux est fortement chauffée, de la vapeur se forme, et cette vapeur monte avec l'air dans des régions atmosphériques plus élevées. Lorsque la surface de la terre s'est ainsi échauffée à l'équateur, l'air y devient à son tour plus léger, et il s'élève, de même que, dans notre dernière séance, l'air de cette salle s'élevait de la surface d'une spatule portée à une haute température. L'air de l'équateur, après s'être élevé dans l'atmosphère, se divise en deux courants, dont l'un se dirige vers le pôle nord et l'autre vers le pôle sud, tandis que des couches d'air inférieures accourent dans des directions opposées pour remplacer l'air qui s'en va vers le nord ou vers le sud. Si l'air était visible, on verrait ces courants marchant, en sens opposé, l'un au-dessus de l'autre. Il se fait ainsi une circulation d'air continuelle, et les vents qui en résultent

tent ont reçu un nom particulier; on les nomme les *vents alisés*. Le courant le plus élevé est le *vent alisé supérieur*; le courant le plus bas, le *vent alisé inférieur*. Ce n'est pas tout. Comme je vous l'ai dit, les rayons du soleil agissant sur l'eau de l'Océan, la convertissent en vapeur, et cette vapeur se mêle à l'air. Que devra-t-il en résulter? Deux faits dont je vais vous rendre témoins nous aideront à résoudre cette question.

Le premier de ces deux faits consiste en ce que, si l'on comprime de l'air subitement, on développe de la chaleur; je vais le réaliser au moyen de cette espèce de pompe appelée briquet à air. C'est un petit tube de verre bien calibré, muni d'un piston qui remplit assez le tube pour ne pas laisser passer l'air; de sorte qu'en exerçant un effort sur le piston je comprimerai l'air situé au-dessous. Voici, en outre, un morceau d'amadou que je place dans une petite cavité ménagée au bas du piston; il sera, sans aucun doute, mis en ignition ou allumé par la compression subite de l'air au fond du tube. (C'est ce qui a lieu effectivement.) Or, qu'avons-nous fait dans cette expérience? Nous avons mis simplement les molécules de l'air dans cet état de vibration intense que l'on nomme chaleur. D'autre part, si nous prenons un vase rempli d'air à une certaine température, et que, au lieu de comprimer l'air environnant, nous le fassions dilater, cette dilatation produira du froid. Saisissez bien cet effet de la dilatation de l'air. Voici un vase dans lequel j'ai condensé de l'air, en l'introduisant et le comprimant au moyen d'une pompe foulante, de sorte que le vase contient beaucoup plus d'air qu'il n'en contiendrait dans son état naturel. En tournant simplement un robinet, je donnerai issue à cet air comprimé; à sa sortie du vase, le gaz se dilatera et viendra frapper un thermomètre à air; le thermomètre constatera un effet de refroidissement subit, que mes jeunes amis ver-

ront peut-être avant moi. S'il y a refroidissement, la colonne thermométrique montera d'une manière sensible. Je tourne le robinet, l'air sort; déjà la colonne s'est élevée; et cette élévation prouve que l'air qui était contenu dans le vase s'est refroidi en se dilatant. Un grand homme, un illustre maître, qui a laissé de glorieux souvenirs dans cette enceinte, sir Humphry Davy, a décrit une machine qu'il avait vue à Schemnitz, en Hongrie, construite d'après le même principe, mais beaucoup plus puissante; un courant d'air, qui jaillissait d'un vaste réservoir où il avait été fortement comprimé, subissait, par la dilatation, un refroidissement tel que la vapeur de l'atmosphère en était congelée et se déposait sous forme de neige. Dans tout ce qui va suivre, rappelez-vous bien que lorsque de l'air est comprimé de la manière que j'ai expliquée, il se produit de la chaleur, et que, lorsqu'il se dilate, il se produit du froid. Mon préparateur tient toute prête une petite expérience; mais, comme je crains qu'elle ne soit pas visible pour tous, je vais vous dire en quoi elle consiste. Ce grand récipient en verre contient de l'air, et vous voyez dans son intérieur un petit ballon élastique rempli lui-même d'air. L'air du ballon possède une certaine quantité de chaleur, en vertu de laquelle il a le pouvoir de presser de dedans en dehors et de tendre les parois du ballon. Si, par l'action d'une pompe aspirante, nous faisons sortir l'air du récipient ou qui entoure le ballon, nous enlèverons la pression extérieure qui faisait équilibre à la pression intérieure du ballon ou à la force expansive de l'air qu'il contient, le ballon se gonflera; donc nous verrons son volume occuper presque tout l'espace intérieur du récipient. (On procède à l'expérience.) Vous voyez que le ballon devient de plus en plus volumineux; mais, en même temps, l'air intérieur qui produit ce grossissement se refroidit par sa dilatation. Je vais, en tournant le robinet, permettre à l'air exté-

rieur de rentrer dans le récipient, et le ballon reviendra à ses dimensions primitives. Vous voyez comme il se rapetisse sous la pression de l'air qui rentre, jusqu'à ce qu'il soit exactement ramené au volume qu'il avait précédemment. Mon préparateur va retirer le ballon pour que je puisse vous montrer ce qui a lieu dans le récipient lorsque l'air qu'il contient est aspiré par la pompe. Je tiens à vous faire constater directement les effets de refroidissement produits par la dilatation ou l'expansion de l'air dans la nature. Un mot d'abord sur ce qui arrive lorsqu'une masse d'air s'élève, par exemple, du niveau des mers à une certaine hauteur dans l'atmosphère. Pour fixer les idées, je supposerai une hauteur de 3 300 mètres, comme celle de l'un des plus hauts passages des Alpes. Concevons donc une masse d'air s'élevant verticalement à la hauteur du col de l'un de ces passages. Cet air arrive ainsi dans une région où il est moins fortement pressé qu'il ne l'était en bas ; il est déchargé du poids de la portion de l'atmosphère au-dessus de laquelle il s'est élevé ; en conséquence, il se dilate, et sa dilatation est accompagnée d'un abaissement de température. Cet air devient plus froid, et, s'il contenait autant d'humidité qu'il pouvait en contenir, par son élévation à une hauteur de 3 300 mètres, il se refroidira d'environ 22° cent.

Mais rappelez-vous que, pour maintenir la vapeur de cette chambre dans son état d'invisibilité, il fallait un certain degré de température. Et si, en ce moment, vous pouviez subitement ramener cette salle à la température des régions polaires, que verriez-vous ? Vous verriez l'air de la salle se condenser en donnant naissance à un brouillard, et ce brouillard refroidi se transformer en neige : c'est ce que l'on voit journellement en Russie et ailleurs. Si donc l'air de cette salle se refroidissait suffisamment, vous verriez la vapeur d'eau qu'il contient se précipiter sous forme de neige. Cet

effet s'observe quelquefois à Londres même, dans les salles de bal : lorsqu'on ouvre les fenêtres, dans les intervalles des danses, le refroidissement immédiat de l'air détermine une condensation de vapeur qui suffit pour obscurcir l'atmosphère. Imaginons donc que de l'air chargé de vapeur invisible, s'élevant de la surface de la mer, soit transporté dans un de ces passages des Alpes. Si, par cette élévation, la température de l'air est abaissée à 0° , il ne pourra plus retenir sa vapeur ; cette vapeur tombera sous forme de neige, et cette neige se déposera sur les sommets des montagnes.

Voici une expérience qui vous montrera comment les nuages se forment par la condensation de la vapeur. Voyez le récipient en verre de notre machine pneumatique : il ren-

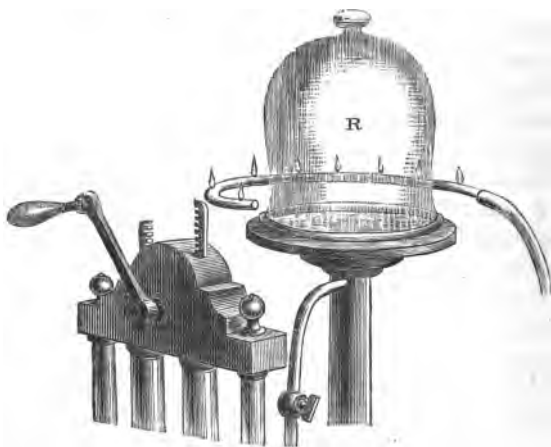


Fig. 7.

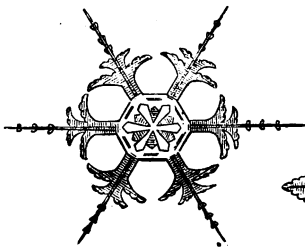
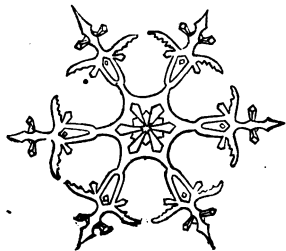
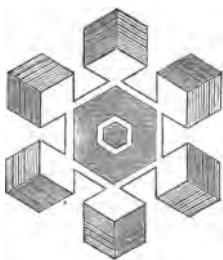
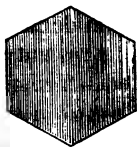
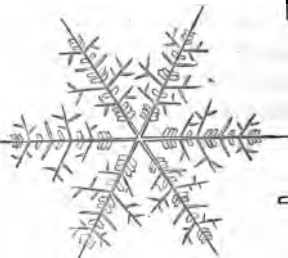
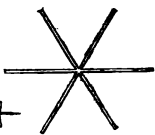
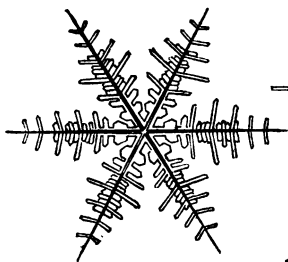
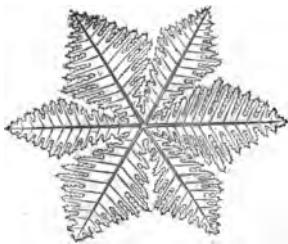
ferme de l'air chargé de vapeur d'eau invisible. Une ceinture de becs de gaz est placée derrière le récipient, et je le ferai tra-

verser par un faisceau de rayons lumineux qui iront ensuite tomber sur un écran. Vous n'apercevrez d'abord rien qui vous indique la présence, dans le récipient, d'une substance quelconque. Mais faisons agir la machine pneumatique, pour enlever une partie de l'air du récipient et déterminer la dilatation de la portion d'air qui restera : la température de cet air restant s'abaissera, et vous verrez de la vapeur apparaître sous forme de brouillard au sein du récipient. Vous ne voyez encore rien ; mais voici que nous commençons à faire le vide. (La machine étant mise en action, une condensation de vapeur se manifeste immédiatement.)

Un nuage s'est formé dans le récipient quand on a raréfié l'air, mais aussitôt qu'on laisse l'air rentrer, le nuage disparaît entièrement, bien qu'il contienne toujours la même vapeur. On pompe de nouveau ; vous voyez le nuage se reformer et redevenir visible par la lumière de la lampe. C'est là un véritable nuage, qui s'est formé, comme vous l'avez vu, avec des éléments fournis par l'air de la chambre, et c'est exactement ainsi que se forment les nuages de l'atmosphère, par la dilatation et le refroidissement subséquent de l'air qui s'élève de la surface de la mer.

Ces nuages peuvent tomber sous forme de pluie, mais ils peuvent aussi tomber sous forme de neige. La neige est pour vous tous une chose si familière qu'il vous paraîtra sans doute inutile que je m'arrête à vous en parler. Cependant, la neige est une des choses les plus belles et les plus merveilleuses qu'il y ait dans le monde ; et, lorsqu'elle s'est formée dans une atmosphère tranquille, comme je l'ai vu si souvent et avec tant de plaisir sur les Alpes, elle prend ces formes élégantes que nous avons essayé de représenter figure 8.

On y découvre comme de petites étoiles à six rayons. C'est la forme de la neige qui va sans cesse s'accumulant



sur les Alpes d'année en année; et, lorsque nous parcourons d'un regard attentif ces montagnes gigantesques, avec les vallées qui les unissent, nous sommes frappés des aspects magnifiques qu'elles nous présentent. Un examen très-attentif de la neige déposée sur les pentes des montagnes fait reconnaître qu'elle est à l'état de mouvement, et qu'elle descend sans cesse vers les vallées en donnant naissance à des rivières de glace. Quand on s'arrête, pour la première fois devant une de ces rivières de glace, on s'imagine qu'elle est tout à fait immobile et qu'il ne peut y avoir de déplacement dans un corps aussi rigide que la glace. Cependant, des observations attentives démontrent qu'elle se meut sans cesse, et que c'est là l'origine des glaciers des Alpes. Sans aucun doute, chacun de mes jeunes auditeurs ira un jour visiter lui-même ces célèbres glaciers, particulièrement celui qu'on nomme la *Mer de glace*, près de Chamounix, et dont voici la carte. Cette Mer de glace a pour grandes nourricières les neiges du mont Blanc et des autres montagnes grossièrement indiquées sur la carte. Voici une grande cascade où la neige, après s'être accumulée et comprimée de manière à former de la glace, tombe effectivement en cascade le long de la vallée. Dans cet autre bassin, la neige amoncelée, comprimée et convertie en glace, est aussi dans un état de mouvement perpétuel.

Considérez maintenant les lignes que j'ai tracées sur la carte. Les montagnes qui enserrant les glaciers leur envoient continuellement des pierres et de la boue, et vous voyez partout des traînées de débris dessiner la pente des glaciers. Vous voyez aussi que là où deux glaciers se courbent pour s'unir en un seul, leur union fait naître une ligne saillante qui est comme l'axe du tronc commun. Ces diverses lignes sont nommées des *moraines*, des moraines latérales ou des moraines médianes, suivant qu'elles sont situées sur

les bords ou au centre du glacier. Toutes ces sortes de moraines apparaissent sur la Mer de glace. Quand on l'examine attentivement, on trouve que, malgré sa rigidité si grande, la glace descend comme une rivière. Ce phénomène étrange a été étudié par des hommes éminents : par Saussure d'abord, mais assez superficiellement; ensuite par Bordier, qui remarqua que la glace se comportait comme une matière visqueuse. Il fut le premier à émettre l'idée de la viscosité de la glace. A Bordier succéda Mgr Rendu, évêque de Chambéry, qui émit lui aussi la pensée que la glace avait les propriétés des matières visqueuses, le miel, la mélasse, le goudron ou la pâte. Vinrent ensuite : M. Agassiz et un autre, qui déterminèrent la vitesse de chute de la glace, M. Forbes, illustre savant écossais, dont les observations et les mesures exactes ont fait faire un grand pas à la question, enfin M. Huxley et moi : nos recherches communes sur le sujet ont eu quelques résultats utiles, et il m'a été donné de les compléter par de nouvelles études personnelles. C'est ainsi que les connaissances scientifiques vont s'accumulant, roulant ou grossissant sans cesse comme une boule de neige; et voilà comment la science grandit et grandira de plus en plus.

Je tiens à vous montrer que la glace, en effet, se comporte à la manière des corps visqueux, comme la mélasse, le miel, le goudron, la lave, la pâte, etc. J'ai prié mon préparateur de m'apporter un bloc de glace, et j'espère vous prouver, par des expériences faites sous vos yeux, que nous pouvons manipuler de la glace presque comme un morceau de pâte, la mouler et lui donner la forme qu'il nous platt. Nous prenons notre glace, nous la plaçons sur la table recouverte d'une étoffe de laine. Et la voici collée à la laine qui semble congelée avec elle. Vous allez voir comment une circonstance, petite en apparence, nous conduit à l'ex-

plication d'un fait grandiose observé dans les glaciers. Oui, cette explication est sortie d'un tout petit fait remarqué pour la première fois par le plus grand des physiciens expérimentateurs que le monde ait jamais produits; un homme que je sens presque vivre encore au milieu de nous, tant ces lieux sont pleins de son souvenir; un homme qui, en parlant ici même à des enfants comme vous, avait toute la sensibilité, tout l'entrain, toute la gaieté de la jeunesse. Je dis que nous devons à une observation, en apparence insignifiante de ce grand homme, l'explication des faits les plus extraordinaires des glaciers, la possibilité de vous faire voir comment un corps aussi rigide et aussi cassant que la glace coule presque comme de la lave. Voyons d'abord combien la glace est fragile. Je prends un instrument pointu, une alène, je l'enfonce dans la glace, et vous voyez qu'elle se brise en petits morceaux, comme le ferait du verre. Remarquons bien ce qui se passe dans les glaciers. Des mesures exactes, prises sur la *Mer de glace*, m'ont révélé un fait bien frappant. Vous voyez sur le tableau ce premier grand glacier, remarquable par sa blancheur; en voici un autre, et là encore un troisième. J'ai mesuré leurs dimensions. La largeur du premier glacier est de 1 037 mètres, celle du second de 754 mètres, celle du troisième de 583 mètres. En additionnant ces nombres, on trouve que la somme des largeurs des trois tributaires de la Mer de glace est de 2 374 mètres. Or, regardez plus près, et vous verrez que l'ensemble de ces trois courants unis pour ne former qu'un seul tronc est resserré dans un espace qui n'a que 816 mètres de largeur, le tiers à peine de la somme des largeurs des trois glaciers séparés. Une des propriétés merveilleuses de cette glace est de pouvoir être ainsi reserrée dans un lit étroit. Si l'on prend un certain nombre de poteaux, qu'on les plante en ligne parfaitement droite sur la largeur du

glacier, et qu'on les y laisse un jour, on trouvera le jour suivant qu'ils ne sont plus en ligne droite. Dans une des observations que j'ai faites sur les lieux, j'avais implanté sur le glacier seize poteaux. Le poteau le plus rapproché de l'un des bords du glacier descendait de 17,5 centimètres par jour; le second de 20 centimètres; le troisième de 32,5 centimètres; le quatrième de 37,5 centimètres; le cinquième de 47,5 centimètres; le sixième de 50 centimètres; à cet endroit la vitesse du mouvement commençait à diminuer, et revenait à 37,5 centimètres près de l'autre bord du glacier. Ces nombres prouvent un fait également observé sur les rivières; qu'en son milieu le courant se meut plus rapidement que les bords. De même, ainsi que l'a observé M. James Forbes, la surface du glacier se meut plus rapidement que le fond, retardé par le frottement que son contact avec le lit ou sol inférieur lui fait subir. Lorsque je visitai la Mer de glace en 1857, j'y rencontrai une cascade de glace dont je pus mesurer la vitesse d'écoulement à la surface et au fond. Le poteau du haut s'avavançait de 15 centimètres, celui du milieu de 11 centimètres, et celui du bas de 6 centimètres seulement. Ce qui prouve que la surface du glacier marchait plus vite que le fond. De plus, et ceci est important, lorsqu'une rivière coule dans une vallée droite, le mouvement le plus rapide a lieu au milieu de la rivière; mais si elle coule dans une vallée sinueuse (fig. 9), le point le plus rapide sera toujours celui où la rivière se courbe. Il en est tout à fait de même pour un glacier. Cette figure 9 représente le lit de la Mer de glace, d'après les mesures que j'en ai prises. En A, A les points d'écoulement plus rapide sont sur la ligne médiane du glacier. Au contraire, en a, c les points de vitesse maximum sont à gauche et en b à droite de la ligne médiane du glacier. Dans la figure, la ligne ponctuée représente l'axe du glacier et la

ligne continue la ligne des points de plus grande vitesse.

Cela posé, comment se fait-il qu'un glacier puisse couler comme une rivière? Nous allons le voir. Je coupe deux morceaux dans ce bloc de glace. Vous constatez qu'elle se fond dans l'atmosphère de cette salle, et n'est plus assez froide pour se congeler ou solidifier de nouveau. Cependant, chose

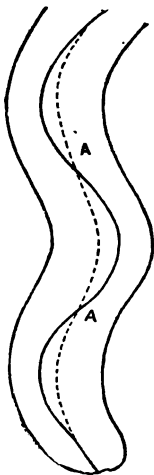


Fig. 9.

étonnante, et c'est l'observation faite par Faraday, si nous appliquons l'un contre l'autre ces deux morceaux de glace, dont la surface est actuellement en fusion, ils se congèleront mutuellement, et adhéreront l'un à l'autre. Quoique la glace soit à zéro, sans excès de froid, par le seul fait du rapprochement des morceaux, la couche mince d'humidité qui les recouvrait tout à l'heure s'est transformée en glace. Cette curieuse congélation au contact a reçu de M. le docteur

Hooker le nom de *regélation*. Une des conséquences de la *regélation* est la possibilité de convertir de la neige en glace. Chacun de vous sait dans quel état doit être la neige pour qu'on puisse l'arrondir en boule. Elle doit être molle, et en la pressant convenablement, vous sauriez, si vous étiez méchant, lui donner presque la dureté d'une pierre. Je n'ai pas de neige ici, mais je vais essayer d'en faire en râclant la surface de la

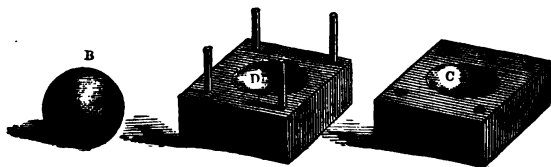


Fig. 10.

glace. Voici, en effet, une espèce de neige et un morceau de flanelle pour la recevoir. J'en remplis un moule convenablement choisi C, D, au sein duquel je la comprime. En l'absence de neige véritable, je puis aussi me procurer son équivalent en broyant de la glace, comme je le fais dans ce mortier. Je veux faire une boule de glace, et je le puis, grâce à la faculté que possèdent les petites particules de glace de se congeler ensemble, comme je l'ai dit. Je ne pourrais pas tasser assez la neige dans le moule par le seul effort de le main. Je place donc le moule sous la presse hydraulique, c'est le nom que l'on donne à la machine que vous avez sous les yeux. Avec elle, je suis assuré du succès. (On procède à l'opération, et le moule, retiré de la presse, contient une boule de glace solide.) Nous sommes en possession d'une boule de neige (B) comme vous n'en avez jamais vu, et elle est due à ce fait, qu'en amenant les petites particules de glace au contact, elles se sont congelées ensemble. Ce n'est pas du tout une boule de neige ordinaire, et aucun de vous

n'aimerait qu'on la lui lançât au visage. C'est une sphère de glace solide, produite par les petites particules de glace qui se sont congelées ensemble en vertu de la propriété merveilleuse de la *regélation* ; et c'est en vertu de cette même propriété que les glaçons, quoique brisés en mille morceaux, se prennent de nouveau à la surface de l'eau. Les brisures, les ruptures ou crevasses des glaciers finissent souvent par disparaître, parce que leurs parois se réunissent en vertu de la *regélation* découverte par Faraday.

Voici quelques autres expériences du même genre. Placées et comprimées au sein de moules assortis, des râclures de glace prennent la forme d'anneaux et de coupes hémisphériques ; mises en contact par leurs bords, deux coupes hémisphériques se regèlent ensemble et forment une sphère creuse de glace. Ces expériences, faites sur une petite échelle, vous montrent assez comment il peut se faire que les particules d'une substance extrêmement fragile se prennent ensemble partout où elles se touchent quand cette substance possède la faculté de la *regélation*. Elle se comporte alors, vous le voyez, comme si elle n'était pas du tout fragile, comme le ferait une pâte molle. Nous pouvons faire ainsi des statuettes, ou donner à la glace toutes les formes que nous voudrons. Je pourrais vous faire boire dans des coupes de glace une eau très-fraîche. Je regrette même de ne pas pouvoir offrir à chacun de vous du champagne ainsi frappé. (Rires.) J'ai fait plus d'une fois, avec de la glace, des verres à vin de Champagne, de Bourgogne, de Bordeaux, et toute espèce d'ustensiles. De cette manière, par ces petites expériences, nous expliquons, nous rendons accessibles à notre intelligence les phénomènes merveilleux des glaciers des Alpes. Nous ne voyons plus aucune difficulté à ce qu'un corps aussi cassant que la glace se comporte à la manière des corps visqueux.

Mais laissons, quelque intéressante qu'elle soit, la question de la glace et ses propriétés.

Voici en opération sous vos yeux un appareil destiné à vous révéler le mode d'action des *geysers* d'Islande; et vous pourrez voir dans une autre salle de cet établissement une très-belle peinture de ces mêmes geysers qui nous a été donnée par notre président sir Henry Holland, qui les a visités en 1810 avec sir George Mackensie. Dans quelques instants, le tube va lancer en l'air une colonne d'eau; mais je ne pense pas que je puisse dans cette séance vous expliquer complètement le mécanisme de cette singulière action. Nous y reviendrons. Lorsque sir Henry Holland et sir Georges Mackensie visitèrent le grand geyser, sir Georges Mackensie admit qu'au-dessous du geyser il existait une grande citerne, que cette citerne était en partie remplie d'eau, et que le geyser lui-même n'était qu'un tube. Il supposait que l'eau de la citerne était chauffée par un feu souterrain, et que la vapeur dégagée forçait l'eau à s'élever dans le tube. Telle est la théorie proposée par sir Georges Mackensie; mais l'existence de la caverne n'est nullement nécessaire. La source a élevé elle-même son propre tube, et il suffit du tube pour produire ces éruptions merveilleuses qui frappent d'étonnement tous ceux qui en sont témoins. Le tube du geyser est représenté en coupe verticale par la figure 13. Il a 25 mètres de profondeur et le revêtement de sa surface intérieure ressemble tout à fait à une couche unie de plâtre ou de stuck. Il s'ouvre à son sommet dans un bassin elliptique dont les deux diamètres ont l'un 18, l'autre 20 mètres. On met l'appareil en action, et un flot épais d'eau bouillante est projeté à une certaine hauteur (voyez fig. 14). Mais je tiens à vous montrer un autre genre d'éruptions; à imiter sous vos yeux les effets d'une autre source appelée le *strok-kur*, représentée en coupe (fig. 12). C'est encore une source



Fig. 11.

célèbre qui a trouvé place dans le tableau de sir Henry Holland à côté du grand geyser. (Je vous dirai dans la prochaine leçon pourquoi l'appareil avec lequel nous imitons le geyser

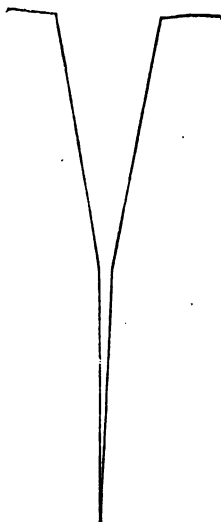


Fig. 12.

est muni de deux foyers.) Les indigènes de l'Islande ont coutume de boucher l'orifice du Strokkur avec des mottes de terre. Je vais faire comme eux et fermer par un bouchon de liège l'ouverture du tuyau conique. Dans quelques minutes le bouchon sera lancé en l'air, et je ne serais pas surpris de voir l'eau s'élever jusqu'au plafond. La dernière expérience faite, à ma connaissance du moins, sur le Strokkur, l'a été par M. le commandant Forbes. Il enveloppa un gigot de mouton dans une serviette, et s'en servit pour obstruer le tube. Le gigot de mouton fut projeté en l'air tout

à fait cuit à point. Plusieurs voyageurs ont estimé la hauteur qu'atteignent les éruptions d'Islande. Sir Holland

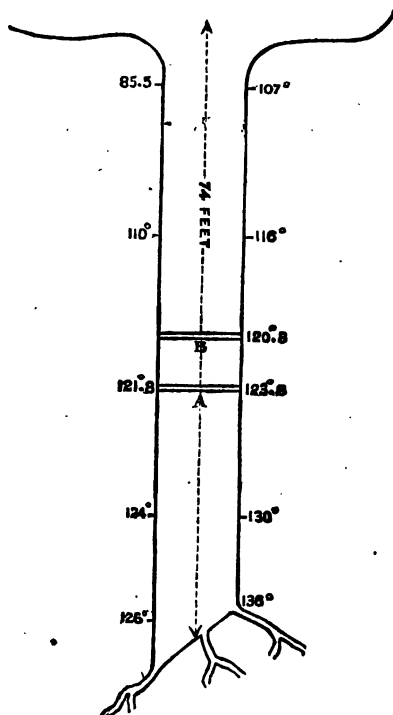


Fig. 18.

m'affirme qu'il en a vu une s'élever à plus de 33 mètres ; c'est aussi à très-peu près la hauteur assignée par sir Georges Mackensie. Les observations plus récentes font cette hauteur beaucoup plus grande. Deux Danois, MM. Auflasen et Paulson, affirment qu'ils ont vu le geyser lancer son eau à

120 mètres de hauteur, ce que personne n'avait vu avant eux. M. Bunsen, de Heidelberg, a fait deux observations au théodolite, et nous pouvons les regarder comme parfaitement exactes. La seconde des observations assigne à l'éruption une hauteur de 50 mètres, et on doit l'accepter comme définitive. Cela posé, j'ai dit que le tube du geyser était la cause de l'éruption, et quand, en effet, nous voyons un petit tube produire l'éruption dont vous avez été témoins, il n'est nullement nécessaire de recourir à l'hypothèse d'une caverne souterraine. M. Bunsen a suspendu des thermomètres à diverses profondeurs au-dessous du bassin du geyser, pour mesurer la température de l'eau. J'ai indiqué sur la figure 13 les températures qu'il a trouvées et qui vont en augmentant avec la profondeur. Au sommet la température était de 85,5 degrés, et elle s'élevait jusqu'à 126°,5 cent. en descendant à l'intérieur. Mais pourquoi l'eau ne bout-elle pas dans le geyser quand la température y est supérieure à 100 degrés? En y réfléchissant vous pourriez me répondre que c'est parce que l'eau, à cette profondeur, a à supporter non-seulement la pression de l'atmosphère, mais encore la pression de la masse d'eau qui est au-dessus d'elle dans le tube. Cet excès de pression fait que l'eau ne peut pas bouillir à la température que M. Bunsen a observée. A la profondeur à laquelle l'eau du geyser atteignait 120°,5, la température de l'ébullition aurait été de 136 degrés. En aucun point du tube la température de l'eau n'atteignait celle du point d'ébullition pour la pression à laquelle elle était soumise. (En ce moment le bouchon saute de l'ouverture du modèle du stokkur, et un flot abondant d'eau bouillante est lancé jusqu'au plafond de l'amphithéâtre.)

Je dois renvoyer à la prochaine leçon l'explication du mécanisme des geysers.

QUATRIÈME LEÇON

Les geysers de l'Islande (suite). — L'équivalent mécanique de la chaleur. — Consommation de chaleur.

Le sol de l'Islande s'élève graduellement des côtes vers le centre, où le niveau général est d'environ 2 000 pieds (600 mètres) au-dessus de la surface de la mer. Sur ce plateau central, comme sur un piédestal, se dressent les jökull ou montagnes de glace, qui s'étendent des deux côtés dans la direction du nord-est. Les volcans actifs se rangent le long de cette chaîne, et les sources thermales suivent la même direction générale, ce qui conduit à penser que ces sources et ces volcans ont une origine commune. Des cônes et des cratères, adossés à ces montagnes, s'échappent d'énormes masses de vapeur, que l'on entend, par intervalles, siffler et mugir; et, lorsque l'issue des vapeurs se trouve à l'ouverture d'une caverne, la résonnance de la caverne donne souvent au bruit produit l'éclat du tonnerre. Plus bas, dans les couches plus poreuses, ce sont des mares fumantes de boue; une pâte alumineuse d'un bleu noir repoussant, sans cesse en ébullition, se soulève de temps en temps en bulles énormes qui crèvent et lancent leur écume gluante à une hauteur de 5 ou 6 mètres. Les glaciers partent en montant de la base des collines; au-dessus s'étendent les champs de neige qui couronnent leurs sommets. Des voûtes et des

fentes des glaciers s'échappent de grandes masses d'eau qui tombent quelquefois en cascades sur des murs de glace et s'étendent sur la contrée, en nappes de plusieurs kilomètres, avant de trouver une issue définitive. Il se forme ainsi de vastes marais qui ajoutent leur désespérante monotonie à la scène déjà si lugubre qui se déroule sous les yeux du voyageur. Interceptée par les crevasses ou fissures du sol, une partie de cette eau descend jusqu'aux roches brûlantes de l'intérieur du sol; et là, rencontrant les gaz volcaniques qui traversent ces régions souterraines, elles cheminent avec eux pour s'échapper, à la première occasion favorable, en jets de vapeur ou d'eau bouillante.

Le Grand-Geyser est un tube de 3 mètres de diamètre et de 23 mètres de profondeur, surmonté d'un bassin qui mesure 16 mètres du nord au sud et 18 mètres de l'est à l'ouest. L'intérieur du tube et du bassin est revêtu d'une couche siliceuse très-unie, si dure qu'elle résiste aux coups de marteau. La première question qui se présente est celle-ci : « Comment ce tube merveilleux a-t-il été construit ? comment ce stuc admirable s'est-il appliqué sur ses parois ? » Un coup d'œil sur la composition de l'eau du geyser nous donnera peut-être la réponse à cette question. On trouve, dans mille parties de cette eau, les substances suivantes :

Silice.	0,5097
Carbonate de soude. . . .	0,1939
Carbonate d'ammoniaque. .	0,0083
Sulfate de soude.	0,1070
Sulfate de potasse.	0,0475
Sulfate de magnésie. . . .	0,0042
Chlorure de sodium.	0,2521
Sulfure de sodium.	0,0088
Acide carbonique.	0,0557

Le revêtement du tube est de la silice provenant évidemment de l'eau ; on pourrait donc conjecturer que l'eau a déposé la silice sur les parois du tube et du bassin. Mais l'eau ne forme pas de dépôt, lors même qu'on la refroidit jusqu'au point de congélation. Mise en bouteille, elle reste des années entières aussi claire que du cristal et sans qu'il se forme le moindre précipité. Un échantillon, apporté de l'Islande et analysé dans cette institution, s'est trouvé absolument exempt de dépôt. Dans cette manière de résoudre la question posée, il faudrait admettre en outre que le puits a été formé par une action étrangère, et que l'eau l'a simplement revêtue à l'intérieur. (On a exposé un dessin du geyser, appartenant à sir Henry Holland, qui a été témoin oculaire de ces merveilleux phénomènes.) On peut s'en rapporter à l'exactitude de ce dessin, qui a été fait d'après une esquisse prise sur place. On voit ici que le bassin du geyser est situé au sommet d'un tertre d'environ 12 mètres de hauteur, et il est évident, à la simple inspection des lieux, que le tertre a été formé par le geyser ; donc, en construisant le tertre, *la source a aussi formé le tube qui le traverse de part en part* ; de là cette conclusion que le geyser est l'architecte de son propre tube. Si nous mettons une certaine quantité d'eau du geyser dans un bassin d'évaporation, voici ce qui arrive : au centre du bassin le liquide ne dépose rien, mais sur les côtés, où il est attiré par l'attraction capillaire et soumis à une évaporation rapide, nous trouvons un dépôt de silice. Un anneau de silice se forme à l'entour du bord, et il faudrait que l'évaporation de l'eau se continuât bien longtemps pour qu'on pût apercevoir un léger trouble au centre du bassin. Cette expérience est la représentation microscopique, s'il m'est permis de m'exprimer ainsi, des opérations de la nature en Islande. Imaginez le cas d'une simple source siliceuse thermale, dont l'eau s'écoule goutte à goutte sur une

pente douce : l'eau ainsi étalée s'évapore rapidement, et de la silice est déposée. Ce dépôt élève graduellement le flanc sur lequel l'eau coule, lui donne du relief, et force enfin l'eau à prendre un autre cours. La même chose a lieu ici : le sol s'est élevé peu à peu, comme il vient d'être dit; la source a dû sans cesse tourner et monter, déposant sa silice, et rendant plus profond le puits qu'elle habite, jusqu'à ce qu'enfin, dans le cours des âges, la simple source ait créé le merveilleux appareil qui a si longtemps embarrassé et étonné le voyageur et le savant.

« Avant une éruption, le tube et le bassin se sont remplis d'eau chaude; des détonations se font entendre par intervalles, et chacune d'elles est suivie d'une violente agitation dans le bassin. L'eau est soulevée dans le tuyau de manière à former un monticule au centre du bassin; il en résulte un trop-plein qui se déverse. Ces détonations sont dues évidemment à la production de vapeur dans les conduits qui alimentent le tube du geyser; cette vapeur, se mêlant à l'eau plus froide du tube, y est soudainement condensée, et produit les explosions. Dans l'intervalle entre deux éruptions, la température de l'eau s'est élevée graduellement dans le tube; mais, même immédiatement avant une éruption, l'eau n'est à la température de l'ébullition dans aucune partie du tube. Comment donc une éruption peut-elle se produire? M. Bunsen a réussi à déterminer la température de l'eau quelques minutes avant une éruption, et ses observations donnent la vraie clef de l'énigme. Un peu au-dessous du centre il a trouvé que la température de l'eau était à deux degrés au-dessous de son point d'ébullition, c'est-à-dire, à deux degrés au-dessous du point où l'eau entre en ébullition sous la pression atmosphérique, *augmentée de la pression de la colonne d'eau superposée*. La température réelle à trente pieds (10 mètres) au-dessus du

fond du geyser était de 122° centigrades; le point d'ébullition sous cette pression est de 124° . Je viens de dire que la détonation et le soulèvement de la colonne du geyser étaient produites par l'arrivée de la vapeur qui vient des conduits souterrains. Ces détonations et le soulèvement de la colonne qui les accompagne sont, comme il a été dit, entendus et observés à divers intervalles avant une éruption. Admettons que la section de l'eau à dix mètres au-dessus du fond ait été soulevée de deux mètres par l'arrivée d'une masse de vapeur inférieure. Le liquide se répand dans le bassin, il passe par-dessus les bords, et ainsi la section soulevée éprouve une diminution de pression de deux mètres d'eau; le point d'ébullition sous cette pression diminuée est à 121° ; donc dans sa nouvelle place, sa température actuelle, 122° , est à un degré au-dessus du point d'ébullition. Cet excès de chaleur sert instantanément à engendrer de la vapeur; la colonne est de nouveau soulevée, et l'eau inférieure est déchargée d'une partie de sa pression; il se forme plus de vapeurs; depuis le milieu du tube jusqu'en bas, la masse entre soudainement en ébullition, l'eau qui est au-dessus est projetée avec une immense vitesse, et nous avons l'éruption du geyser dans toute sa grandeur. Par son contact avec l'air, l'eau est refroidie; elle retombe dans le bassin, remplit partiellement le tube dans lequel elle s'élève graduellement, et finit par remplir le bassin comme auparavant. On entend des détonations par intervalles, on observe des bouillonnements, mais ce sera seulement quand le tube aura atteint une température assez rapprochée de l'ébullition pour soulever effectivement la colonne d'eau, que nous aurons de nouveau une véritable éruption.

Dans le tube régulièrement formé, l'eau n'atteint nulle part exactement le point d'ébullition. C'est donc dans les canaux qui alimentent le tube que doit se former la vapeur

productrice des détonations et du soulèvement de la colonne d'eau. Ces canaux ne sont en réalité rien autre chose que la continuation irrégulière du tube lui-même. Le tube est par conséquent la cause unique et suffisante des éruptions. On l'a démontré expérimentalement pendant la leçon. Un tube de fer galvanisé, long de 2 mètres, était surmonté d'un bassin ; on avait placé un foyer au-dessous, et un autre près de son milieu pour imiter l'échauffement latéral du tube du geyser. Des éruptions se produisaient à des intervalles de cinq ou six minutes pendant toute la durée de la leçon ; l'eau était lancée en l'air, retombait dans le bassin, remplissait le tube, se chauffait de nouveau, était lancée encore et ainsi de suite.

Il suffit d'un moment de réflexion pour comprendre qu'il doit y avoir une limite aux opérations du geyser. Lorsque le tube a atteint une longueur telle que l'eau, dans ses profondeurs inférieures, ne peut plus atteindre son point d'ébullition, en raison de l'accroissement de pression, les éruptions cessent nécessairement. La source, néanmoins, continue de déposer sa silice, et forme un *laug* ou citerne. Quelques-uns de ces laugs d'Islande ont 10 ou 12 mètres de profondeur. Leur beauté est indescriptible : une vapeur légère ondule à leur surface, l'eau est du plus pur azur, et teinte de ses nuances délicieuses les incrustations fantastiques des parois de la citerne, tandis qu'au fond on aperçoit souvent la bouche d'un geyser autrefois très-puissant. On trouve en abondance en Islande des traces d'opérations de geysers, autrefois grandioses, aujourd'hui éteints. On voit des tertres dont les puits sont remplis de décombres, parce que l'eau, se frayant de force un passage, s'en échappe en dessous pour aller porter ailleurs le théâtre de son action. Le geyser, en un mot, se montre à nous dans toutes les phases de son existence, sa jeunesse, son âge mûr, sa vieillesse et sa mort.

Dans sa jeunesse, simple source thermique; dans son âge mûr, colonne éruptive; dans sa vieillesse, *laug* tranquille; sa mort enfin est comme enregistrée par le puits en ruine et le tertre, qui témoignent de son activité d'autrefois.

Après le Grand-Geyser, le Strokkur est la source éruptive la plus fameuse de l'Islande. La profondeur de son tube est de 13 mètres. Il n'est pas cylindrique comme celui du geyser, il a la forme d'un entonnoir. A son ouverture, il a 2 mètres et demi de diamètre, mais il diminue graduellement, et près de son milieu il n'a plus que 25 centimètres de diamètre. Si l'on bouche le tube en y jetant des pierres et de la tourbe, on le force ainsi à produire des éruptions qui atteignent des hauteurs plus grandes que celles du Grand-Geyser. On a donné pendant la leçon une idée de ce mode d'action en fermant avec un bouchon le tube galvanisé de l'expérience précédente. Quelques instants après, le bouchon a été lancé en l'air, il s'est formé subitement de la vapeur qui a élevé l'eau à une hauteur considérable, ce qui a prouvé que le tube suffisait seul à produire le phénomène.

Dans les leçons que j'ai déjà faites, j'ai beaucoup admiré l'attention et la patience de mes jeunes auditeurs. Ils sont d'âges assez différents, mais quoique j'aie été obligé d'aborder certaines matières qui ne pouvaient vraiment pas être comprises par les plus jeunes, et de rappeler certains faits élémentaires que les plus âgés savent trop bien, les plus jeunes se sont montrés très-patients quand j'ai parlé pour leurs aînés, et les plus âgés très-complaisants quand je me suis adressé à leurs cadets. Je prie les uns et les autres d'accepter mes remerciements sincères. Aujourd'hui, je parlerai pour tous, en commençant par les plus âgés, car j'ai à expliquer deux expressions abstraites très-employées, quand il est question de la chaleur.

Si on élève 1 kilogramme d'une substance quelconque à

425 mètres au-dessus de la surface de la terre, et qu'on le laisse retomber de cette hauteur, on trouvera toujours la même quantité de chaleur engendrée, et cette quantité de chaleur sera tout juste celle qui est nécessaire et qui suffit; je dis tout juste, rien de plus, rien de moins, pour élever d'un degré centigrade la température d'un kilogramme d'eau. Concevez donc qu'un poids d'un kilogramme tombe de cette hauteur, 425 mètres, que l'on recueille toute la chaleur engendrée par le choc de ce poids contre la terre, et qu'on la fasse absorber à un kilogramme d'eau, la température de ce kilogramme d'eau sera élevée d'un degré centigrade. Maintenant, par des moyens convenablement choisis, nous pourrions renverser le procédé : nous soulèverons à l'aide de la chaleur le poids d'un kilogramme; nous l'élèverons à la hauteur de 425 mètres; il faudra pour cela le soustraire à l'action de la terre qui l'attire; c'est-à-dire que pour soulever ce poids à cette hauteur, il faudra consommer, en réalité, dépenser, anéantir, détruire une quantité de chaleur égale à celle qui élèverait d'un degré la température d'un kilogramme d'eau; de sorte que la quantité de chaleur dépensée dans l'acte de l'élévation du poids à 425 mètres est exactement égale à la quantité de chaleur engendrée par ce poids tombant d'une hauteur de 425 mètres. Cela posé, la force nécessaire pour élever un kilogramme de matière à un mètre au-dessus du sol, a été prise pour unité de force, et on l'a appelée *kilogrammètre*. Pour élever le poids d'un kilogramme à 425 mètres, il faudra 425 unités ou 425 kilogrammètres; pour élever 425 kilogrammes à la hauteur d'un mètre, il faudra la même force ou 425 kilogrammètres. Cette quantité de 425 kilogrammètres qui élèverait d'un degré la température d'un kilogramme d'eau, est appelée *l'équivalent mécanique de la chaleur*.

Pour soulever un poids, on a à vaincre l'attraction de la

terre, et pour vaincre cette attraction on consomme de la chaleur, si la chaleur est l'agent qui soulève le poids. Permettez-moi de vous inviter de nouveau à vous figurer les molécules des corps solides, de celui, par exemple, que je tiens à la main. Règle générale, quand on communique de la chaleur à un corps, les molécules sont forcées de s'éloigner les unes des autres. Vous savez avec quelle énergie et avec quelle force énorme ces mêmes molécules doivent s'attirer, car je vous ai fait voir que si on refroidit un barreau de fer, la force de contraction qui ramène les molécules les unes vers les autres, c'est-à-dire l'attraction mutuelle des molécules du fer est capable de rompre un barreau d'acier, et vous avez vu ce barreau tomber brisé sur cette table. Voici donc que nous trouvons dans les molécules des corps qui s'attirent les unes les autres, une action qui est substantiellement la même que celle qui se produit lorsqu'on élève un poids au-dessus de la terre. Nous pouvons donner un nom à cette action ou travail qui se produit à l'intérieur d'un corps. Appelons-le *travail moléculaire*, si vous le voulez bien, ou, si vous l'aimez mieux, *travail fait sur les molécules*. Ce travail exige une consommation de chaleur ; partout où il se produit, il y a de la chaleur dépensée ; et ce que j'ai besoin de bien faire pénétrer actuellement dans votre esprit, c'est que la quantité de chaleur dépensée est très-différente dans les différents corps ; c'est-à-dire que, pour élever d'un degré la température de certains corps, il faut plus de chaleur que s'il s'agissait d'autres corps. Pour élever d'un degré la température d'un kilogramme de mercure liquide, il faut lui communiquer une certaine quantité de chaleur. Il faudrait *trente fois* cette même quantité de chaleur pour élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau. L'eau exige trente fois la quantité de chaleur requise pour le mercure, uniquement parce que le

travail à exécuter est bien plus considérable pour l'eau que pour le mercure. Maintenant que résulte-t-il de ce travail moléculaire, variable d'un corps à l'autre ? Puisqu'il faut trente fois plus de chaleur pour élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau, on serait tenté d'en conclure que l'eau a le pouvoir d'emmagasiner trente fois plus de chaleur que le mercure. On a, en effet, cru d'abord que la chaleur *était* quelque chose que l'on emmagasinait, et on appelait *capacité pour la chaleur* la quantité relative de chaleur qu'il fallait communiquer à un corps pour élever sa température d'un degré. Dans cette manière de voir, chaque corps devenant un réservoir de chaleur capable d'absorber ou de

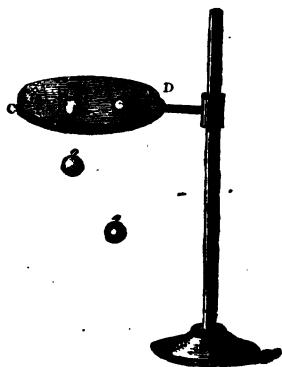


Fig. 14.

dissimuler dans son sein une certaine quantité de chaleur, que l'expérience prouvait être très-différente dans le passage d'un corps à l'autre. On mesurait cette quantité de chaleur latente, c'est le nom qu'on lui avait donné parce qu'il ne se fait pas sentir au thermomètre, par la quantité de glace ou de cire qu'il pouvait fondre en se refroidissant.

Voici un vase contenant de l'huile bouillante, et dans lequel on a placé des sphères de différents métaux. Elles sont en ce moment toutes également chaudes, et cependant vous allez voir que ces sphères métalliques ont, à des degrés très-inégaux, la faculté de faire fondre un même corps. Nous allons les poser sur ce gâteau de cire D (fig. 14), et nous observerons le degré d'action de chacune. Quelques-unes traverseront le gâteau d'outre en outre, d'autres ne le traverseront pas. La boule de cuivre fondra et traversera la cire plus que toutes les autres ; la boule d'étain ne la traversera qu'en partie. Le bismuth ne passera certainement pas, quoiqu'il soit tout aussi chaud que le cuivre. La boule de plomb elle-même est incapable de fondre la cire dans toute son épaisseur, tandis que la boule de fer la traverse. La boule de zinc, enfin, a juste ce qu'il faut pour passer, elle passera ; mais je puis dire d'avance que le plomb, l'étain et le bismuth ne passeront pas. En effet, les boules de cuivre, de fer et de zinc se sont ouvert un passage à travers le gâteau de cire en le fondant, et sont tombées l'une après l'autre sur le sol. Les trois autres boules n'ont pas percé la cire. Cette expérience prouve évidemment et élégamment que ces métaux renferment des quantités de chaleur très-différentes, quoiqu'ils soient tous à la même température thermométrique.

Nous allons maintenant étudier la chaleur dépensée dans le travail moléculaire ; j'essayerai, par quelques expériences, de rendre évidente la consommation de chaleur dans le travail qui force les particules des corps à se séparer ou à changer de positions relatives. L'un des cas les plus remarquables de consommation de chaleur est celui qui a lieu quand on fait passer un corps de l'état solide à l'état liquide. Voici un bel instrument, la *pile thermo-électrique* AB (fig. 15), sur lequel j'ai déjà appelé votre attention. C'est une

sorte de thermomètre, et je vais vous montrer comment on peut s'en servir pour savoir si nous avons affaire au chaud ou au froid, s'il y a élévation ou abaissement de température. Je ne puis entrer dans une explication complète de ses

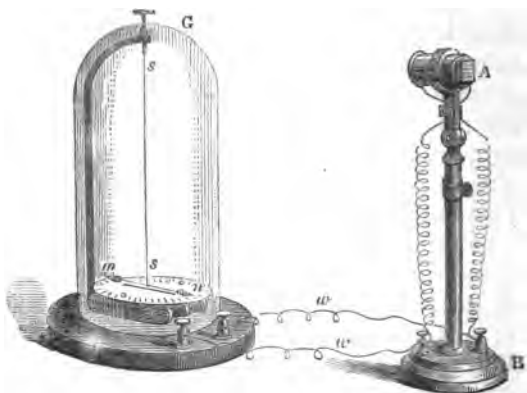


Fig. 15.

divers organes ; mais si vous regardez l'aiguille *mn* du galvanomètre *G* avec lequel l'appareil est en communication par les fils *ww*, vous verrez combien cet appareil est sensible ou délicat. C'est incontestablement le plus sensible de tous les thermomètres. Je vais tourner la face *A* de l'instrument de mon côté, puis j'enverrai sur elle mon haleine, ou je prierai un de mes jeunes auditeurs de respirer sur elle. La chaleur de l'haleine se manifestera aussitôt par un déplacement de l'aiguille aimantée. J'envoie en effet mon haleine sur la pile, et vous constatez que l'extrémité rouge de l'aiguille vient à moi. Quand l'aiguille, revenue à sa première position, sera de nouveau en repos, j'essayerai l'effet du froid sur cet instrument si délicat, que nous avons appelé,

si vous vous en souvenez, *pile thermo-électrique*. (Vous voyez que je puis arrêter l'aiguille presque instantanément en faisant agir sur elle une autre aiguille aussi aimantée.) Je vais maintenant mettre un morceau de glace dans une cuiller, et au plus petit contact de la cuiller froide avec la pile, vous verrez l'extrémité rouge de l'aiguille s'éloigner de moi pour se porter vers vous. Nous avons donc dans cet instrument le moyen de reconnaître si l'impression qu'il a reçue est celle de la chaleur ou du froid. Je ramène à présent l'aiguille au repos, et je procède à mes expériences. Voici un petit bassin plat B (fig. 16) que je place horizontalement sur

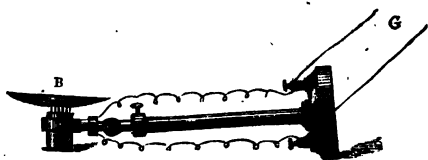


Fig. 16.

la face de la pile renversée, et vous remarquez que quoique ce bassin soit resté en repos sur la table, il s'est un peu échauffé et qu'il fait marcher de mon côté l'extrémité rouge de l'aiguille. Mais dès que je verse un peu d'eau froide dans cette soucoupe, vous voyez aussitôt l'extrémité rouge se porter de votre côté. Je vais maintenant chauffer cette eau en y plongeant mon doigt, et après quelques instants vous verrez l'aiguille revenir vers moi sous l'action de la chaleur que ma main aura communiquée à l'eau, et dépasser même la position d'équilibre ou le zéro. (Après une pause.) Vous le voyez, l'aiguille vient maintenant de mon côté, ce qui prouve que l'eau a été échauffée par mon doigt. Je pourrais prendre du sucre, ou du sel, ou du salpêtre, ce qui serait encore mieux, et je jetterais un peu de ce salpêtre en

poudre dans l'eau ; il se liquéfierait ; cette liquéfaction consommerait de la chaleur, l'eau se refroidirait, et l'aiguille marcherait vers vous , constatant le refroidissement produit par la fusion. Pour faire cette expérience, je choisis une substance particulière appelée sulfate de soude. Vous voyez que mon doigt a communiqué beaucoup de chaleur à l'eau, et que l'aiguille , revenue de mon côté , a de beaucoup dépassé le zéro. Je jette maintenant dans l'eau du sulfate de soude pulvérisé , et vous voyez que l'eau se refroidit immédiatement en dissolvant ce sel.



Fig. 17.

Il y a donc eu consommation ou dépense de chaleur dans l'acte de la liquéfaction du sulfate de soude. Voici une autre expérience très-instructive, inverse de la précédente. En solidifiant, ou en faisant revenir du sulfate de soude à l'état solide, nous lui ferons rendre la chaleur qu'il a dépensée en se liquéfiant. On a mis dans ce matras B (fig. 17), une solu-

tion de sulfate de soude très-saturée, c'est-à-dire que l'eau a dissous du sel tout ce qu'elle était capable de dissoudre ; on l'a préparée avec le plus grand soin pendant la nuit dernière, et on l'a conservée soigneusement à l'abri de tout ce qui pouvait l'agiter. Appliquons d'abord la face de la pile contre le matras, et procédons à la solidification. Je puis, en effet, ramener le sulfate de soude à l'état cristallisé, à la condition de celui que je faisais dissoudre tout à l'heure dans la soucoupe. Quand cette cristallisation commencera, le liquide du matras deviendra de plus en plus trouble, et quand les cristaux se formeront en face du point où le matras touche la pile, la chaleur que le sol avait absorbée en se dissolvant redeviendra libre ; le matras s'échauffera, et vous verrez l'extrémité rouge de l'aiguille venir vers moi. J'ouvre le col du matras, et je fais tomber dans la solution un cristal de sulfate de soude. (On l'a fait, et le contenu du matras, devenu opaque, a commencé à se solidifier du haut en bas.) La cristallisation s'opère, et dès que les molécules qui font face à la pile se solidifieront, la chaleur, dégagée et transmise à la pile par la paroi, déterminera le déplacement ou la déviation, c'est le nom qu'on lui donne, de l'extrémité rouge de l'aiguille qui viendra vers moi. (Après une pause.) — Ce que j'ai annoncé est arrivé. Voici que la chaleur dépensée par le sulfate de soude dans l'acte de sa fusion nous est rendue ; la déviation de l'aiguille accuse un dégagement de chaleur. En suivant la même marche, je vais vous montrer que, quand un corps s'évapore, il y a une grande quantité de chaleur d'absorbée ou dépensée dans l'acte de l'évaporation. Pour convertir un kilogramme d'eau à 100° centigrades en vapeur à 100° centigrades, il faut une énorme quantité de chaleur : toute la chaleur nécessaire pour élever d'un degré centigrade la température de 650 kilogrammes d'eau ; et cette chaleur, quelque considérable qu'elle

soit, est insensible au thermomètre. La raison qui m'a fait employer un mélange de glace et de sel pour faire un mélange réfrigérant dans une précédente expérience, est précisément que l'action du sel détermine la liquéfaction de la glace, et que cette liquéfaction exige l'absorption, la consommation d'une grande quantité de chaleur, d'où il résulte que la température du liquide descend beaucoup au-dessous de celle de la glace. Je vais le prouver en produisant du froid par la vaporisation : si les choses marchent bien, je réussirai, je l'espère, à faire congeler l'eau sous vos yeux par sa propre vaporisation. Tout est prêt pour l'expérience. L'appareil que vous voyez (fig. 5), appelé cryophore, se

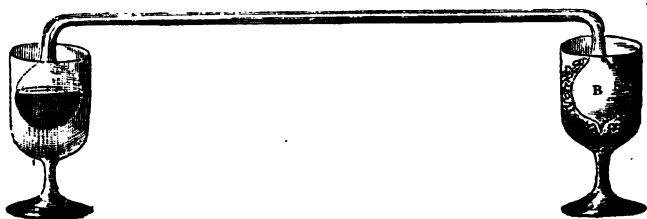


Fig. 18.

compose de deux boules, A et B, plongeant dans deux vases. L'eau de la première boule s'est congelée dans la salle depuis le commencement de la leçon. Après l'avoir introduite dans la boule, on avait, à l'aide d'une machine pneumatique, extrait l'air de l'appareil; et l'on avait fait entourer la seconde boule, d'abord vide, d'un mélange réfrigérant. A mesure qu'elle se dégageait de l'eau, au sein du vide, la vapeur était condensée par le mélange réfrigérant, et le refroidissement produit dans la première boule par l'acte de la vaporisation de l'eau a suffi à la congeler. Il est donc vrai qu'il y a con-

somation ou dépense de chaleur dans le passage d'un corps de l'état liquide à l'état de vapeur. J'ai sous la main diverses substances qui me permettraient de mettre ce fait en évidence de la manière la plus satisfaisante. Voici par exemple de l'alcool; j'y plonge mon doigt et je l'approche mouillé de la face de la pile. Je vois que l'aiguille du galvanomètre indique dans la pile la présence d'une grande quantité de chaleur; n'importe, l'évaporation de l'alcool, en la refroidissant, ferait dévier l'aiguille en sens contraire; et si je prends une substance qui se vaporise plus rapidement encore que l'alcool, par exemple, de l'éther, il ne lui faudra pas une seconde pour que le froid produit l'emporte sur la chaleur, cause de la déviation actuelle. Je vais accélérer l'évaporation, et si l'aiguille n'est pas retenue par quelque obstacle accidentel, elle nous indiquera par une déviation en sens contraire la disparition de la chaleur actuelle. Vous voyez qu'elle va vers vous, chassée en quelque sorte par le froid considérable que l'évaporation de l'éther a produit. Ce froid est tel qu'on pourrait le faire servir et qu'on le fait servir réellement à la production artificielle de la glace.

Je passe maintenant à une autre question, la propagation de l'agent appelé chaleur, de ce mode de mouvement qui fait vibrer les molécules d'un corps; et pour vous rendre cette propagation plus évidente, je commencerai par une ou deux expériences sur deux corps liquides ou sur des gaz. Je veux que vous compreniez bien comment la chaleur se distribue d'elle-même dans les gaz, et dans ce but, j'ai placé ici un morceau de fil de platine, ce métal que vous avez vu chauffé au rouge blanc éclatant, dans notre première leçon. C'est un métal réfractaire, il peut supporter sans brûler l'action de grandes quantités de chaleur. Nous allons rendre la salle obscure, et mon préparateur allumera notre lampe électrique. Je vous demanderai d'abord de re-

garder l'ombre que ce petit fil de platine projettera sur l'écran. Je présume que le phénomène sera visible pour tous les jeunes physiciens qui m'écoutent, sans excepter ceux qui occupent les places les plus éloignées. Nous chauffons le fil de platine par un courant électrique, et vous observez deux choses : vous voyez d'abord le fil s'allonger, puis s'affaisser, se courber en formant un arc ; il fléchit sous son propre poids. Observez, en second lieu, l'air qui s'élève agité de la surface du fil devenu chaud. Le mouvement ondulatoire qui s'exécute sous vos yeux est dû au courant d'air chaud qui monte le long du fil. La même chose se remarque pour les liquides : voici un verre rempli d'eau froide qui va nous servir à le démontrer. Je le place devant la lampe, et son image se projette sur l'écran. Mon préparateur va faire passer le courant électrique en fermant le circuit ; et dès que le courant circulera dans cette hélice ou spirale de platine plongée dans le liquide, l'eau s'échauffera, et vous verrez les particules chauffées s'élever à la surface. Vous voyez maintenant sur l'écran l'action de la chaleur du fil sur l'eau, action qui la force à élever comme l'indiquent ces stries ascendantes. L'eau monte dès qu'elle a été en contact avec la surface chaude du métal ; et en même temps qu'elle monte, elle se répand, se diffuse dans la masse non chauffée. Je fais cette expérience pour bien inculquer dans vos esprits la différence qui existe entre cette action de la chaleur et une autre qui lui ressemble à première vue. L'action dont vous venez de voir les effets est ce qu'on nomme la *convection*, ou l'échauffement par transport, et je vous prie de ne pas la confondre avec celle qui a reçu le nom de *conduction*, propagation de molécule à molécule, et qui est essentiellement différente. Pour vous donner sur la conduction des idées claires et précises, j'ai fait disposer et mettre sous vos yeux

un appareil composé d'une barre de fer et d'une barre de cuivre, et je vais demander à ces barres quelle est celle qui conduit le mieux la chaleur. Mon préparateur va allumer une lampe et la placer au-dessous des barres, de manière à chauffer en même temps leurs extrémités en contact. A mesure qu'elles s'échaufferont, elles détermineront la fusion de petites boules de cire fixées à leurs faces inférieures et les laisseront tomber. Vous reconnaîtrez, je l'espère, par le résultat, que la chaleur se propage plus vite dans le cuivre que dans le fer. Voici un appareil semblable, où les barres tiennent suspendus des bouts de chandelles de suif adhérents à leurs surfaces. La barre de laquelle il se détachera un plus grand nombre de ces bouts de chandelles sera évidemment celle où la chaleur se propage le mieux. Cette expérience est bonne, meilleure peut-être que d'autres plus habilement conçues, et vous pouvez facilement la répéter chez vous. Le cuivre fondra toutes ses chandelles avant que le fer ait fondu les siennes. Toute la théorie des étoffes qui servent à vous vêtir consiste en ce que ces étoffes sont de mauvais conducteurs de la chaleur. Vos corps sont des sources de chaleur. Par la combustion des aliments introduits dans vos organes digestifs, il se produit de la chaleur, et l'utilité des vêtements de laine que vous portez dans cette froide saison de l'année, est simplement de retarder le passage de la chaleur de vos corps dans l'air. Mais l'étoffe n'a pas de chaleur en elle-même. Si j'ai besoin de conserver de la glace, comme dans une leçon précédente, je l'enveloppe de plusieurs doubles de flanelle, ce qui empêche la chaleur du dehors d'arriver jusqu'à elle et de la fondre. L'étoffe de laine ne fait donc que s'opposer au passage de la chaleur, dans une direction ou dans l'autre ; les étoffes de laine sont généralement de mauvais conduc-

teurs de la chaleur, et ainsi s'explique leur utilité comme vêtements.

Notre expérience avec les bouts de chandelles démontre que les diverses sortes de matières n'ont pas la même puissance de conduction de la chaleur. En voici une autre qui établit le même fait. Si je chauffe cette barre de fer en la plongeant dans de l'eau chaude, et qu'ensuite je la pose sur un cylindre de verre en contact avec la pile thermo-électrique, le verre ne livre point passage à la chaleur et l'empêche d'arriver à la pile; l'aiguille continue à indiquer le froid. Il faudrait, du moins, un très-long temps pour que la chaleur traversât le verre et parvint jusqu'à la pile. Maintenant je remplace le cylindre de verre par un cylindre de cuivre, et je pose la barre de fer sur ce cylindre de cuivre. Je présume qu'il ne faudra pas plus de deux ou trois secondes pour que le cuivre transmette une certaine quantité de la chaleur du fer à la pile, et lorsque cela aura lieu, vous verrez l'aiguille passer de l'autre côté du zéro indiquant la chaleur. Dans ce cas, au lieu d'avoir de la chaleur transportée, comme dans les gaz ou les liquides, par le passage des particules chaudes à travers la masse froide, nous avons une transmission de chaleur de molécule à molécule au sein du cuivre; ce second mode de propagation, ainsi que je l'ai dit, se nomme *conduction*, tandis que le premier, totalement différent, prend le nom de *convection*.

J'aborde maintenant un autre sujet, de nature un peu différente, mais non sans avoir dit un mot d'un petit appareil éminemment utile, la lampe de sûreté dont malheureusement on ne fait pas toujours un usage assez circonspect. Posons d'abord nettement la question que l'inventeur de cet appareil a voulu résoudre. Vous savez peut-être déjà que dans les houillères les mineurs ne peuvent s'éclairer avec des chandelles découvertes, en raison de la quantité

de gaz détonant qui se développe dans l'atmosphère des mines. Autrefois, ils n'avaient guère pour éclairage que les faibles lueurs des étincelles d'un caillou frappé par un briquet d'acier. Sir Humphry Davy, l'inventeur de la lampe de sûreté, s'était posé ce problème : *comment éclairer le mineur, et le préserver en même temps des terribles explosions de gaz ?* et il ajouta : *Puis-je placer une lumière dans l'intérieur d'un appareil dans des conditions telles qu'elle éclaire convenablement à travers l'enveloppe, sans pouvoir déterminer l'explosion du grisou ?* Il trouva qu'une flamme

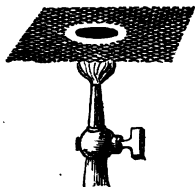


Fig. 19.

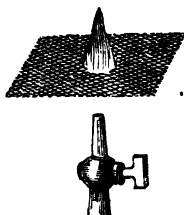


Fig. 20.

ne pouvait pas passer à travers les mailles d'une toile de fer ordinaire. Elle est tellement refroidie par le contact des fils de fer, en raison de la grande conductibilité de ce métal pour la chaleur, et de la facilité avec laquelle il laisse la chaleur se dissiper, qu'elle ne peut passer au-delà de la toile qu'en cessant d'être flamme. Vous voyez que lorsque cette toile de fer (fig. 19), est placée au-dessus de la flamme, la flamme est nettement supprimée ; elle essaye vainement de passer à travers. Si au contraire nous allumons le gaz au-dessus de la toile, la flamme ne descendra pas au-dessous (fig. 20). Or, sir Humphry Davy, dans son invention de la lampe de sûreté des mineurs, a entouré la mèche de la chandelle, ou celle de la lampe ordinaire à l'huile, d'une

toile mécanique ; et quoique la lumière puisse passer par les mailles, il ne peut plus y avoir d'explosion soit à l'intérieur soit à l'extérieur de la lampe, parce que la flamme ou chaleur intérieure, arrêtée par la toile métallique, ne peut pas exercer son action au dehors, et qu'au dedans de la lampe il ne peut y avoir que combustion sans explosion.

Je passe maintenant à une classe de faits singulièrement intéressants. Je prie mon préparateur de chauffer presque au rouge un creuset ou un plat d'argent. Si je viens à y verser un peu d'eau, qu'arrivera-t-il ? Vous me répondrez peut-être : *Eh bien, l'eau sera convertie en vapeur*. Ce n'est pas tout à fait ce qui a lieu. Vous allez voir, quand je verserai l'eau, qu'il s'en vaporisera seulement une quantité suffisante pour que l'eau restante soit soutenue et maintenue à distance par la vapeur comme par un ressort ou un coussin élastique, arrondie en sphère et mobile à la surface de sa propre vapeur. Pour mieux vous faire voir cet effet, je vais faire tomber un rayon de lumière sur ce plat d'argent ; ce rayon de lumière éclairera la goutte d'eau que nous verserons dans le bassin, et, réfléchi, il ira porter sur l'écran l'image de ce qui se passe à la surface de l'argent. Faisons tomber d'une pipette une petite quantité d'eau. Vous voyez maintenant, projetées sur l'écran, les images des globules d'eau, et vous constatez qu'ils roulent portés mollement par leur propre vapeur comme par un coussin. On voit apparaître quelquefois dans cette expérience de très-belles figures produites par l'eau ; on voit souvent des globules prendre la forme de rosettes. La vapeur se dégage de l'eau d'une manière rythmée et quasi musicale, et ce sont les bords ondulés, tantôt contractés, tantôt dilatés de la goutte qui dessinent la rosace. [Au bout de quelques secondes, une rosace apparaît en effet (fig. 21).] Lorsque le vase n'est pas très-chaud, on voit dès le premier instant ces petites ondulations se

former ; et quand ensuite la vapeur n'a plus la force de soutenir le globule, de le défendre du contact avec le vase, l'eau s'étend sur la surface d'argent et bout immédiatement.

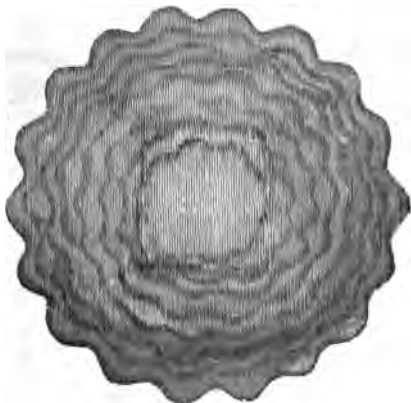


Fig. 21.

C'est ce qui arrive en ce moment. (La forme sphéroïdale a cessé ; l'eau bout tout à coup, et disparaît avec un petit sifflement.)

Mon aide va maintenant préparer une expérience d'un grand intérêt et d'une beauté remarquable. Ne sachant pas positivement si elle réussira, je ne veux pas vous en donner d'avance une trop haute idée. Je dirai seulement que si elle réussit, elle sera fort instructive et d'une importance réelle.

En attendant, je désire vous montrer ce qui peut résulter de l'état sphéroïdal de l'eau en contact avec une surface chaude. J'ai ici une petite bouilloire en cuivre (fig. 22). Je la fermerai plus tard avec un bouchon, mais il faut la chauffer d'abord fortement, et y introduire ensuite quelques

gouttes d'eau. Je vais donc chauffer cette bouilloire; quand elle sera chaude, j'y verserai la petite quantité d'eau chaude nécessaire, et, passant à l'état sphéroïdal, elle roulera sous forme de gouttelettes sphériques sur le fond du

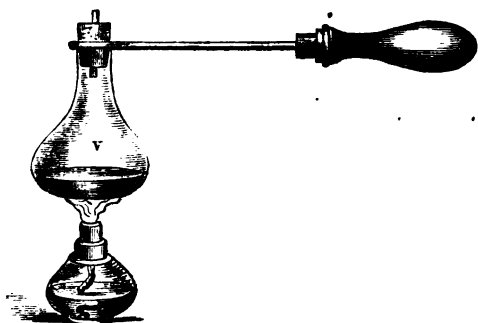


Fig. 22.

vase; elle donnera de la vapeur, mais en assez petites quantités, aussi longtemps que l'état sphéroïdal subsistera, pour qu'elle puisse s'échapper par un petit trou ménagé dans le bouchon. J'enlèverai alors la bouilloire à la source de chaleur; le refroidissement amènera bientôt l'eau à mouiller la surface du métal. Une plus grande quantité de vapeur sera engendrée subitement, et je présume que la quantité de vapeur engendrée sera assez abondante pour lancer le bouchon en l'air. (L'expérience donne le résultat prévu et annoncé.) Vous voyez donc qu'au moment où elle se forme par le contact de l'eau avec le métal encore chaud, la vapeur a fait sauter le bouchon. Il pourrait se produire de cette manière des explosions très-sérieuses de chaudières à vapeur, mais c'est une considération étrangère à notre sujet.

Il me semble actuellement nécessaire de mettre en évi-

dence par une ou deux expériences les propriétés caractéristiques d'une certaine substance sur laquelle j'aurai à opérer. J'ai eu plusieurs fois l'occasion de vous parler des gaz. Or, les gaz généralement, et même l'air que nous respirons, ne sont que les vapeurs de substances dont la température d'ébullition est extrêmement basse. Par exemple, M. Faraday, à qui nous sommes redevables des plus belles recherches dans cette direction, a réussi à comprimer assez le gaz contenu dans un vase clos, à en rapprocher assez les molécules pour les réduire à l'état liquide ; et voici d'autres gaz liquéfiés de la même manière : un de ces gaz est l'acide carbonique expulsé de nos poumons par la respiration. Je vais engendrer une certaine quantité de ce gaz acide carbonique dans ce grand ballon de verre. J'ai déposé au fond du ballon du bicarbonate de soude, et voici un acide. Si je verse l'acide dans le ballon, il attaquera le bicarbonate de soude, et il en résultera un dégagement d'acide carbonique, devenu libre. Je crois que nous avons maintenant la quantité de gaz nécessaire pour nos expériences. (Après un intervalle.) Voyons si le gaz qui vient d'être rendu libre a la propriété d'éteindre une bougie. Ceci nous apprendra si c'est réellement de l'acide carbonique. (Une bougie allumée, introduite dans le ballon, s'y éteint immédiatement.) Oui, c'est bien là le gaz dont il s'agit. Vous voyez qu'il n'est pas propre à entretenir la combustion d'une bougie ; le vase en est presque rempli ; prouvons maintenant qu'il est beaucoup plus lourd que l'air ordinaire. Je pourrais en puiser dans une cuiller ou un petit seau qu'il remplirait, et le verser dans une soucoupe. Si je le versais ainsi, éclairé par un faisceau de lumière qui projetterait son image sur l'écran, vous le verriez couler comme de l'eau, quoiqu'il soit invisible dans les conditions ordinaires. Mais pour mieux manifester sa pesanteur, j'aurai recours à une bulle de savon. Je vais souffler une bulle

de savon à l'extrémité de ce tuyau de pipe et la faire tomber sur ce gaz invisible. Vous verrez qu'elle restera à la surface du gaz, et qu'elle y flottera comme à la surface d'un liquide. (Des bulles de savon sont produites à l'extrémité d'un tuyau de pipe, elles s'en détachent et tombent à la surface de l'acide carbonique ; pendant qu'elles flottent à cette surface, on les éclaire à la lumière électrique.)

Permettez-moi de vous dire maintenant ce que mon aide a fait à l'étage inférieur, dans le laboratoire : nous avons deux bouteilles en fer très-fortes, et il s'agit de remplir ces deux bouteilles d'acide carbonique. Le gaz, dans ces bouteilles, a été liquéfié, et, ouvrant maintenant un robinet, nous laisserons l'acide carbonique liquide se convertir en gaz. Ce que je veux vous faire comprendre, c'est que quand l'acide carbonique liquide se réduit en vapeur, il engendre un froid énorme, absolument comme l'eau qui se vaporise, si ce n'est que le froid engendré par l'acide carbonique est beaucoup plus intense. La conséquence de la vaporisation de l'acide carbonique et du froid qu'elle produit est qu'une partie de la vapeur se condense et se congèle, de sorte qu'on obtient ainsi de la neige d'acide carbonique. Cependant, j'ose à peine vous parler des merveilleux effets de cette neige, car je crains que nous ne réussissions pas à l'obtenir. Si nous l'obtenons, j'en mettrai un peu dans ce vase pour procéder à quelques expériences qui vous surprendront et vous charmeront à la fois. Si nous obtenons de l'acide carbonique solide, nous pourrions notamment congeler de l'eau, la convertir en glace, au sein même d'un creuset chauffé jusqu'au rouge. La neige d'acide carbonique est en elle-même prodigieusement froide ; mais pour la rendre encore plus froide j'y ajouterai un peu d'éther. Il en résultera une pâte, et cette pâte d'acide carbonique et d'éther nous donnera le plus grand froid qu'il soit possible d'obte-

nir, ou du moins qu'on ait obtenu jusqu'à ce jour. Or, si nous introduisons cette pâte dans un creuset chauffé au rouge, qu'arrivera-t-il ? L'acide carbonique et l'éther se vaporiseront l'un et l'autre, et il se formera, entre la pâte et le creuset, une couche de vapeur par suite de laquelle la pâte ne touchera plus le creuset. On conçoit qu'alors le creuset pourra demeurer très-chaud et la pâte rester excessivement froide ; c'est effectivement ce qui aura lieu. Je ferai une autre expérience également curieuse si nous obtenons l'acide carbonique solide : je plongerai cette petite sphère de cuivre pleine d'eau dans le mélange d'éther et d'acide carbonique, au sein du creuset incandescent. L'eau se congèlera ; par sa congélation elle fera éclater la sphère de cuivre, et nous pourrions ainsi faire sortir une sphère solide de glace du milieu d'un brasier ardent. Le préparateur nous fait bien attendre l'acide carbonique solide ; ce retard est de mauvais augure, et je vais moi-même sortir pour en reconnaître la cause. (L'orateur sort. Il revient au bout d'un instant.) J'ai le regret de vous annoncer que mes appréhensions n'étaient que trop légitimes. L'expérience qui se faisait hors de l'amphithéâtre n'a pas réussi. Voici toutefois une petite parcelle d'acide carbonique à l'état de neige, d'acide carbonique solide. Je vais en mettre un peu dans ma bouche et souffler sur cette bougie allumée. Si je l'aspirais, je m'empoisonnerais, mais je me garderai bien de l'aspirer ; je ne ferai que l'exhaler. (La flamme de la bougie est éteinte par le gaz exhalé de la bouche de l'orateur.)

CINQUIÈME LEÇON

Chaleur rayonnante. — Réflexion et absorption de la chaleur rayonnante.

Vous savez que ma dernière leçon s'est terminée par une expérience qui n'a pas réussi, et qui avait pour objet la congélation de l'eau par la neige d'acide carbonique, au sein d'un creuset incandescent. Comme je n'aime pas les expériences manquées, je vais reprendre celle-ci, et, s'il est possible, la mener à bonne fin. Voici une certaine quantité de cette belle neige d'acide carbonique, que j'introduirai dans ce creuset chauffé au rouge. J'y verserai ensuite de l'éther, et dans le mélange je placerai cette boule creuse de cuivre qui contient de l'eau. Je procède à l'opération ; cette neige d'acide carbonique me brûle la main, tant elle est froide. L'éther est maintenant bouillant. La boule est très-froide, et je ne doute pas que l'eau n'y soit déjà à l'état de glace. Je n'ai pas l'habitude de faire cette expérience sur d'aussi petites quantités, mais je ne crains pas de dire que nous réussirons en dépit de tous les obstacles. (Après un court intervalle, la congélation de l'eau est opérée). N'admirez-vous pas cette merveille ? Voilà de l'eau qui s'est convertie en glace au sein d'un creuset incandescent !

J'ai ici du mercure et j'en introduis un peu dans cette capsule. J'ose affirmer que je vais solidifier ce mercure avec notre neige d'acide carbonique. Voilà déjà l'opération faite, et vous voyez ce que vous n'aviez jamais vu jusqu'à ce jour. Vous connaissiez le métal liquide qu'on nomme le mercure; maintenant le voilà solide comme un morceau de plomb, congelé par l'acide carbonique. Cette solidification exige un froid beaucoup plus intense que celui qui suffirait à solidifier l'eau. Je puis le battre sur un enclume, ou le couper avec un couteau. Mais au bout d'un instant il reprend l'état liquide. Si je tiens suspendu dans de l'eau un fragment de mercure solide, il se liquéfie et tombe au fond du vase; mais chaque goutte de mercure qui tombe produit une stalactite de glace. Voyez, le mercure gelé est fondu par l'eau. Cette eau cependant est froide; mais, relativement au mercure, elle est chaude, et le mercure est assez froid pour la glacer aussitôt qu'il la touche.

Le meilleur des hommes et le plus excellent des enfants de ce monde sont sujets à tomber et à faillir. Mais lorsque quelqu'un tombe, la grande question qu'il doit se poser est celle-ci : Combien de temps resterai-je à terre? Oui, chaque enfant fait de temps en temps des chutes, mais son devoir est de faire immédiatement tous ses efforts pour se relever. Nous avons fait une chute aussi nous, nous avons failli dans l'expérience de ma dernière leçon; mais cinq minutes ne s'étaient pas écoulées après la séance que mon assistant était à l'œuvre dans le laboratoire pour réparer cet insuccès, et vous venez de voir qu'il a réussi.

Passons maintenant à une partie de notre sujet tout à fait différente. J'ai cherché à vous donner une idée plus ou moins parfaite de l'agent qu'on nomme chaleur. Je me suis efforcé de le peindre en quelque sorte pour que vous puissiez vous le représenter par la pensée ou l'imagination.

Si vous prenez un corps chaud et que vous le placiez dans l'air, vous trouverez qu'il se refroidit graduellement. S'il a été chauffé jusqu'au rouge, son éclat lumineux se dissipe d'abord, et bientôt il n'en reste rien. L'objet continue à devenir de moins en moins chaud, et finit par devenir aussi froid que l'air environnant. Or, cette chaleur du corps chauffé était un mouvement particulier de ses molécules, et en se refroidissant il n'a fait que céder son mouvement. Mais à quel autre corps cède-t-il son mouvement, lorsque vous l'avez placé dans l'air? Eh bien, me direz-vous, il le cède à l'air. Cela est vrai : et lorsque je tenais la barre de fer chaud en face de l'écran, vous avez vu les particules d'air échauffées par la barre former comme une effluve qui montait dans les couches d'air situées au-dessus; ainsi donc, nul doute à cet égard, c'est à l'air environnant que le corps chaud cède sa chaleur. Mais, si vous placez le corps dans un lieu où il n'y ait pas d'air, dans le vide, il se refroidit encore. Or, il faudra cette fois que votre imagination fasse quelques efforts pour arriver à comprendre comment un corps qui se refroidit dans le vide, cède, perd ou transmet au dehors la chaleur qu'il possédait. J'aime à croire que beaucoup parmi vous savent comment le son se propage dans l'air, comment le bruit de ma voix, transmis par l'air, donne à chacun de vous la sensation des mots que je prononce. J'ai souvent regardé le fond de la bouche des personnes qui parlaient, j'ai observé les cordes vocales ou tendons mis en vibration dans l'acte de parler ou de chanter. Ces cordes impriment à l'air des tremblements qui se propagent dans ce fluide, exactement comme le mouvement se propage par des vagues à la surface de l'eau quand on y jette une pierre. Il en est de même lorsque je passe cet archet de violon sur ce diapason, vous entendez le beau son qui se produit. Je puis voir réellement le diapason vibrer lorsque je

l'examine de près, et vous pouvez entendre les pulsations auxquelles donnent naissance ces chocs contre la carte que je tiens à la main. Toute la fonction du diapason est de faire vibrer ou frémir l'air, et ces frémissements ou vibrations de l'air, transmises à l'oreille sont la cause du son. Le diapason communique son mouvement à l'air qui l'entoure de toutes parts. Par cela même ses vibrations deviennent de moins en moins intenses, et le son devient de plus en plus faible. Or, cet affaiblissement est tout à fait analogue au refroidissement d'un corps chaud. Ce corps chaud transmet son mouvement à ce qu'on appelle l'*éther*, et l'*éther* le communique à son tour aux corps de l'univers qui flottent dans son sein et qu'il pénètre. L'oreille humaine est un des plus merveilleux organes qu'il y ait dans le monde. Je me dis même souvent que l'ouïe est un sens plus parfait encore que le sens de la vue. C'est par l'office de ce merveilleux organe que vous entendez distinctement chacun des mots émis par ma voix; mais il ne vous montre pas comment et quand cette communication de mouvement s'opère. Je vais vous faire voir quelque chose qui vous l'apprendra. Au lieu de l'oreille, je prends une flamme qui nous donnera, j'en suis sûr, un bon résultat. Peut-être qu'un de mes jeunes auditeurs consentira à converser avec cette flamme. Chaque vibration qui partira de ses lèvres et arrivera à la flamme lui communiquera un mouvement, et la fera danser d'une façon singulière. Cette danse de la flamme est une preuve frappante du mouvement que le son produit dans l'air. Cette sensibilité des flammes fut découverte par le professeur Leconte, aux États-Unis. Elle a été étudiée en Angleterre par M. Barrett et par moi. Quelque chose passe dans l'air et éteint la flamme lorsque vous lui parlez : ce sont les vibrations communiquées à l'air qui causent leur agitation.

Revenons maintenant au refroidissement des corps. Un

corps qui se refroidit peut être assimilé à un corps rendant un son qui va sans cesse s'affaiblissant. Le corps, par son refroidissement, transmet son mouvement, non pas à l'air, mais à ce milieu merveilleux appelé l'éther. Le mouvement communiqué à l'air pourrait se nommer le rayonnement du son ; lorsqu'il est communiqué à l'éther, c'est le rayonnement de la chaleur. Pour mettre en évidence cette radiation, nous aurons recours à ce bel instrument que vous connaissez déjà, la pile thermo-électrique. Je vais faire communiquer les extrémités de ces fils avec la pile, et en observant notre aiguille aimantée nous saurons si la pile est chauffée ou refroidie. Je voudrais pouvoir disposer d'une de ces chaudes joues d'enfant que je vois. Chacune d'elles est un corps qui rayonne, non de la lumière, mais de la chaleur. (Le professeur fait choix dans son auditoire d'un jeune enfant et le fait venir près de lui.) Ce petit ami va nous servir de corps rayonnant.

Je vais d'abord refroidir la pile en tournant sa face vers la région vide et froide de l'amphithéâtre ; et j'amènerai ensuite l'aiguille au repos, au moyen de cet aimant. C'est la pile qui en ce moment rayonne, et l'aiguille en descendant accuse son refroidissement. Le moment est venu d'extraire de la chaleur de la joue de mon petit poêle vivant. Il n'est pas nécessaire qu'elle touche la pile. L'effet que j'attends sera dû uniquement au rayonnement de la chaleur de sa joue, et je me hasarde à dire que si elle ne se ressent pas trop du froid de la saison, l'aiguille montera et parcourra un arc de 90 degrés. Voici, en effet, l'aiguille qui marche en vertu de la chaleur rayonnée par la joue. Je vais diriger de nouveau la face de la pile vers la région, qui est pour cette salle une sorte de région polaire, pour lui faire perdre une fois encore la chaleur qu'elle vient de recevoir. La chaleur qui a produit cet effet sur la pile est la cha-

leur rayonnante dont je vais m'occuper pendant le reste de cette séance.

Il s'agit d'abord de vous faire voir que les divers corps possèdent à des degrés très-différents la faculté de rayonner de la chaleur. La joue de mon petit ami la possédait à un degré admirable. Mais il est d'autres corps qui sont, au contraire, très-peu rayonnants. Pour le démontrer, je ferai appel à ce cube en cuivre (fig. 23). Ses trois faces latérales

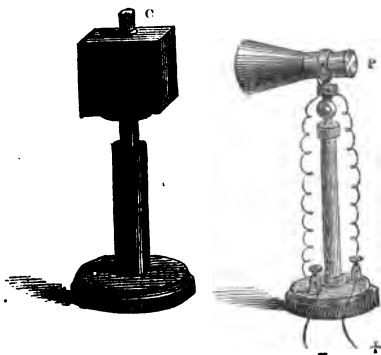


Fig. 23.

sont recouvertes de velours : la première de velours blanc, la seconde de velours écarlate, la troisième de velours noir ; la quatrième face latérale garde la surface nue du métal. Je veux vous montrer très-clairement que ces quatre faces ont des pouvoirs rayonnants très-inégaux. Pour y parvenir, je vais remplir le cube d'eau bouillante. Les quatre faces latérales s'échaufferont également par leur contact avec l'eau ; chaudes, je les laisserai rayonner en toute liberté, et j'essayerai l'un après l'autre leurs pouvoirs rayonnants sur la pile thermo-électrique. Je suis certain que nous observe-

rons des différences très-sensibles. Je commence par amener l'aiguille à zéro, en tournant la face de la pile du côté opposé à l'auditoire, j'installe maintenant le cube sur ce petit support, près de la pile, et vous pourriez avant tout constater avec moi que la face métallique nue est plus chaude extérieurement que les faces recouvertes de velours. Pour acquérir cette conviction, il vous suffirait de toucher simplement du doigt les quatre faces du cube. Et cependant, je suis sûr que le velours produira plus d'effet sur la pile que la face métallique. Celle-ci, comme vous le voyez, ne produit pas un très-grand déplacement de l'aiguille. Je tourne le cube de manière à mettre le velours en face de la pile, et vous voyez l'aiguille monter bien au-dessus de la position qu'elle occupait, quand c'était la face métallique qui la regardait. Je tourne le cube et je ramène la face métallique devant la pile ; l'aiguille redescend, et lorsqu'elle est à son point le plus bas, dès que je dirige vers la pile la face recouverte de velours noir, elle remonte tout aussitôt. Vous voyez donc que le velours rayonne plus de chaleur que le métal. Et de ce fait nous tirons une conséquence que bien peu d'enfants auraient prévue. Si, après avoir rempli d'eau bouillante deux vases clos, l'un enveloppé d'une flanelle épaisse, l'autre dont les parois métalliques sont à nu, nous les laissons en repos jusqu'à la fin de la séance, et si après la leçon nous plongeons dans les deux vases un thermomètre qui nous indique leur température, quel sera, croyez-vous, le vase dont l'eau sera la plus froide.

Plusieurs auditeurs : Le vase de métal.

Le professeur : Vous n'avez pas bien compris l'expérience que j'ai faite sur le cube. Votre conclusion peut sembler la plus naturelle ; mais rappelez-vous que la quantité de chaleur émise par la face couverte du cube était plus grande que la quantité émise par la face découverte ou nue. Le

vase enveloppé de flanelle a donc perdu par rayonnement plus de chaleur que le vase métallique nu; et il doit en résulter qu'à la fin de la séance l'eau du vase enveloppé sera plus froide de deux ou trois degrés que l'eau du vase découvert; c'est ce qui a lieu en effet. Toutefois, pour que cette différence existe à l'avantage du premier vase, il faut que la flanelle soit en contact intime avec sa surface; de telle sorte que la chaleur passe librement et immédiatement du vase dans la flanelle. Si la flanelle ne pressait pas la surface, le résultat serait différent, et l'enveloppe aurait pour effet de conserver la chaleur. C'est la raison pour laquelle les dames quidésirent que l'infusion de leur théière reste très-chaude, la recouvrent d'une sorte de bonnet de nuit, qu'elles appellent cozey, en prenant bien soin que ce cozey soit simplement posé sur la surface de la théière et non serré contre elle. S'il était appliqué de trop près, il serait plutôt nuisible qu'utile. S'il y a un certain intervalle entre les deux surfaces, la surface enveloppée rayonne vers la surface enveloppe, mais celle-ci intercepte les rayons et les empêche de se dissiper au dehors.

J'ai dit qu'on trouve de grandes différences entre les diverses substances, sous le rapport de leurs pouvoirs de rayonner la chaleur : certains corps sont de bons rayonnants, d'autres de mauvais rayonnants. Tous les métaux rayonnent mal. J'ai maintenant à vous expliquer un autre fait en rapport intime avec le rayonnement. J'espère que vous comprendrez l'expérience qui aura pour objet de le démontrer. Voici une surface métallique qui rayonne mal. Si l'on en formait un vase et qu'on le remplît d'eau chaude, ce vase perdrait par rayonnement beaucoup moins de chaleur que cet autre dont la surface est recouverte de noir de fumée. Dans le vase recouvert de noir de fumée, l'eau chaude se refroidirait beaucoup plus vite que dans le vase de fer-blanc

à parois nues. Cela posé, apprenez que les divers corps ont aussi des pouvoirs différents d'absorber ou de *boire* la chaleur rayonnante qui vient frapper leur surface, et qu'en règle générale, un corps bon rayonnant est aussi un corps bon absorbant. Ces deux actions sont réciproques l'une de l'autre. Pour rendre cette loi manifeste à tous les yeux, je vais recourir à un certain artifice; car le physicien, qui a sans cesse dans ses investigations à interroger en quelque sorte la nature, ne peut le plus souvent obtenir la réponse qu'il attend que par des tours de main d'expériences. Je vais donc demander à la nature devant vous laquelle de ces deux surfaces de fer-blanc MN, OP, placées en face un corps chaud, absorbe ou prend le plus vite, le plus abondamment, la chaleur qu'il leur envoie par rayonnement; laquelle, en un mot, est de fait le meilleur absorbant. Vous saisirez parfaitement le petit artifice que je vais employer dans cette expérience si vous voulez bien m'accorder quelque peu d'attention. Un élève n'apprend rien, ou ne comprend rien d'un sujet quelconque sans concentrer sur lui son attention; et si, plus tard, vous ne revenez pas sur l'objet de ces leçons pour y réfléchir et les méditer, si vous ne faites aucune lecture se rapportant au même sujet, tout ce que je vous aurai dit s'effacera de votre mémoire ou n'y laissera que de très-faibles impressions. En réalité mes leçons ne peuvent guère servir qu'à vous donner le premier élan, qu'à vous inspirer un peu de goût pour la science. Je n'espère pas beaucoup de ces leçons publiques. J'aimerais mieux voir dix ou douze élèves de votre âge opérer avec moi dans un laboratoire que de discourir magistralement comme je le fais au milieu de vous. Ces leçons ont cependant leur bon côté, à la condition que vous en ferez plus tard le sujet de sérieuses réflexions.

Voici deux feuilles de fer-blanc, l'une couverte de noir de

fumée, l'autre découverte ou nue, MN et OP (fig. 24). Je les mets en face l'une de l'autre, et je pose ce support exactement au milieu de l'intervalle qui les sépare. Puis, je vais demander à un petit sorcier, à un petit conteur, laquelle de ces deux plaques sera chauffée. Supposez que je chauffe celle-ci. Observez bien ce que fera l'aiguille magnétique. Je la chauffe simplement en y appliquant un de mes doigts. L'extrémité rouge de l'aiguille s'approche de moi. Il ne peut pas entrer dans mon plan de vous expliquer le pouvoir merveilleux qui met l'aiguille en mouvement. Il vous suffit de

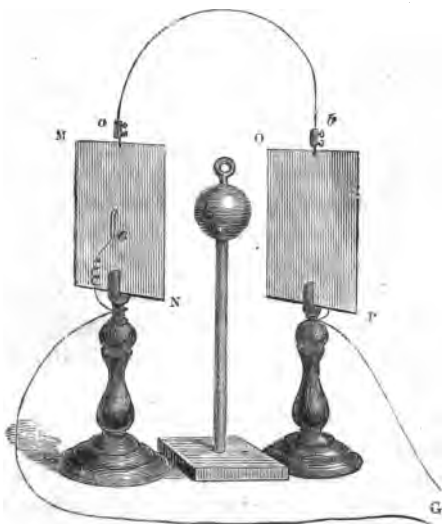


Fig. 24.

savoir que c'est un courant électrique, et que ce courant est produit par l'union des deux métaux qui forment la pile thermo-électrique. Dès que mon doigt touche la plaque, vous

voyez se produire une déviation de l'aiguille. Dès que je retire mon doigt, l'aiguille revient à zéro. Vous voilà maintenant en état de savoir quelle est celle des deux surfaces qui absorbe le plus facilement la chaleur. L'aiguille ne restera à zéro qu'autant que les deux surfaces seront exactement à la même température. Que l'une d'elles devienne un peu plus chaude que l'autre et l'aiguille s'écarte de zéro. voilà par quel moyen nous allons reconnaître celle des plaques qui absorbent le plus la chaleur rayonnante. Mon préparateur m'apporte cette boule de cuivre chauffée jusqu'au rouge. Vous voyez qu'elle rayonne sa chaleur comme un corps lumineux rayonne sa lumière. (La boule de cuivre chauffée au rouge est placée sur le support, au milieu de l'intervalle entre les deux plaques de fer-blanc, l'une nue, l'autre couverte de noir de fumée. (Au bout de quelques secondes, l'aiguille commence à se déplacer dans le sens indiquant que la surface recouverte de noir de fumée est la plus chaude.)). Il est donc prouvé que la plaque, qui a le mieux ou le plus absorbé la chaleur, est la plaque couverte de noir de fumée, c'est-à-dire précisément celle qui rayonnait le plus en chaleur. Si nous expérimentions de la même manière sur diverses substances, nous constaterions qu'elles diffèrent beaucoup entre elles au point de vue du pouvoir absorbant.

Il est vraiment surprenant qu'une cause, en apparence insignifiante, puisse ainsi empêcher l'absorption de la chaleur rayonnante. Je suis heureux de pouvoir mettre sous vos yeux à ce sujet une pièce très-instructive : c'est une plaque fraîchement peinte à l'huile; elle est couverte sur une partie de sa surface de feuilles d'or, et quoique ces feuilles d'or soient infiniment minces, elles ont suffi à défendre la surface peinte qu'elles recouvrent de l'action de la chaleur rayonnante; cette portion est restée intacte, tandis

que les parties découvertes sont toutes parsemées de boursouflures. Là où les feuilles d'or existaient, elles ont empêché l'absorption de la chaleur et l'altération de la peinture, effet de cette absorption.



Fig. 25.

Voici une feuille de papier enduite sur une de ses faces d'iodure de mercure, substance qui se décolore sous l'action de la chaleur. Sur l'autre face sont dessinés certains dessins, formés par l'application sur le papier d'une couche mince de métal. Je place ce papier horizontalement, l'iodure de mercure en-dessous, et je tiens au-dessus de la face supérieure une spatule fortement chauffée, qui rayonnera de la chaleur vers cette surface. Partout où le papier est protégé par la mince couche de métal, les rayons de chaleur seront repoussés ; mais là où le papier est resté à découvert, la chaleur sera absorbée ; elle pénétrera jusqu'à l'iodure de mercure de l'autre face, et détruira sa couleur. Vous verrez que de cette manière nous obtiendrons sur la face inférieure du papier une reproduction parfaite des dessins de la face supérieure : la couleur rouge de l'iodure de mercure se sera conservée sous les parties que recouvre le métal, parce que la surface métallique renvoie la chaleur, comme le faisaient

les feuilles d'or dans l'expérience précédente. (L'expérience a été faite, et elle a pleinement réussi.)

Le rayonnement de la chaleur suit les mêmes lois que le rayonnement de la lumière ; les rayons de chaleur se réfléchissent de la même manière que les rayons lumineux ; nous le démontrerons sans peine à l'aide de notre belle pile thermo-électrique. Mais je ferai d'abord une expérience qui

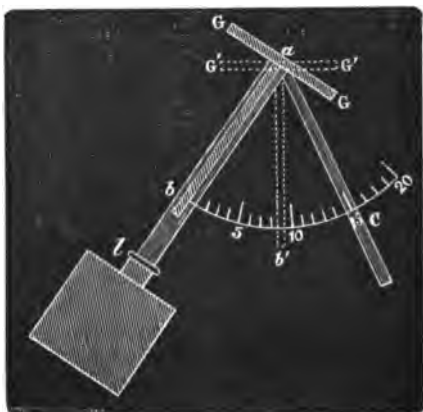


Fig. 26.

gravera dans vos esprits la loi de la réflexion de la lumière , elle est très-simple , et j'espère que vous la trouverez concluante. Mon préparateur, conformément à mes instructions, place devant vous un miroir CG (fig. 26). Je dirige sur ce miroir un rayon de lumière de notre lampe électrique. Ce rayon, rencontrant le miroir au point *a* (fig. 27) , sera renvoyé dans une certaine direction. Quelle est cette direction ? Elle est telle que le rayon réfléchi *fa* fasse à gauche avec la ligne *ab* perpendiculaire au miroir le même angle que fait à droite avec cette perpendiculaire le rayon direct *ae*. L'angle

compris entre le rayon direct ea et la perpendiculaire se nomme l'*angle d'incidence*, et il est indiqué par la lettre g dans la figure ; l'angle h compris entre le rayon réfléchi et

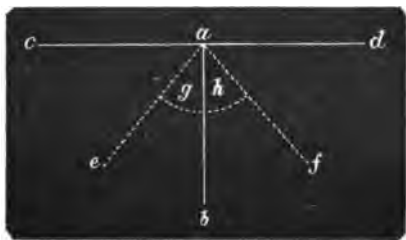


Fig. 27.

la perpendiculaire est l'*angle de réflexion* ; la loi commune à la lumière et à la chaleur est que l'*angle de réflexion h est égal à l'angle d'incidence g* . Si ce que je vous dis est exact, vous trouverez que le rayon réfléchi s'écarte autant de la perpendiculaire, vers la droite, que le rayon direct vers la gauche. J'ai maintenant à prouver qu'il en est de même à l'égard des rayons de chaleur, et je me bornerai à le démontrer par une expérience assez grossière. Je prends cette plaque d'étain, qui réfléchit la chaleur, et je la tiens de telle sorte que la chaleur rayonnante reçue et réfléchie par elle, suivant la loi énoncée, aille tomber sur la face de la pile. Je ne doute pas que cette chaleur réfléchie échauffe la pile, et que, par conséquent, l'aiguille marche en venant vers moi. Vous le voyez, la chaleur rayonnante suit dans sa réflexion la même loi que la lumière.

Je voulais encore faire deux ou trois expériences, toujours avec l'aide si efficace de notre pile thermo-électrique. Mais je remarque que l'aiguille ne se meut pas assez librement, bien que la pile pour son compte fasse son devoir. Je me vois donc réduit à vous dire verbalement ce que cette ai-

guille nous aurait dit par ses déplacements si elle avait été mieux disposée. Je voulais faire appel à sa voix pour remplacer la mienne, mais elle est devenue muette. Je tenais à vous montrer expérimentalement que cet agent appelé chaleur rayonnante ne traverse pas avec une égale facilité les diverses espèces de corps. J'aurais d'abord comparé le passage de la chaleur dans le verre avec son passage dans d'autres substances. Voici, d'une part, un morceau de verre brut ; de l'autre, une substance très-belle ; quoique de nature très-commune, elle est plus précieuse pour moi que le diamant, le premier cependant des bijoux. Cette substance est le sel de roche. Il laissera les rayons de chaleur passer librement à travers sa substance, tandis que le verre les arrêtera complètement. Les liquides nous offrent des différences analogues. Voici deux liquides, l'un appelé bisulfure de carbone, l'autre bien connu de tous, l'eau. Si je remplissais deux flacons, l'un de bisulfure de carbone, l'autre d'eau, je pourrais constater que le bisulfure de carbone se laisse traverser librement par la chaleur rayonnante, tandis que l'eau ne la transmet pas du tout. L'eau est en effet un des corps les plus opaques que l'on connaisse, relativement à la chaleur, en exceptant toutefois la chaleur lumineuse ou incandescente. C'est un corps parfaitement opaque à tous les rayons calorifiques qui émanent, par exemple, d'un vase plein d'eau bouillante, ou de tout autre corps chauffé à un certain degré, ou des joues du jeune physicien qui m'a prêté son agréable concours au début de cette séance. Lors de l'incendie du théâtre de Sa Majesté, la chaleur venait frapper les vitres des fenêtres d'une salle de club située en face, et comme le verre ne la laissait pas passer, elle échauffa les vitres qui bientôt éclatèrent. Si elles avaient été formées de sel de roche, la chaleur les aurait traversées, et elles seraient demeurées parfaitement froides, quelque in-

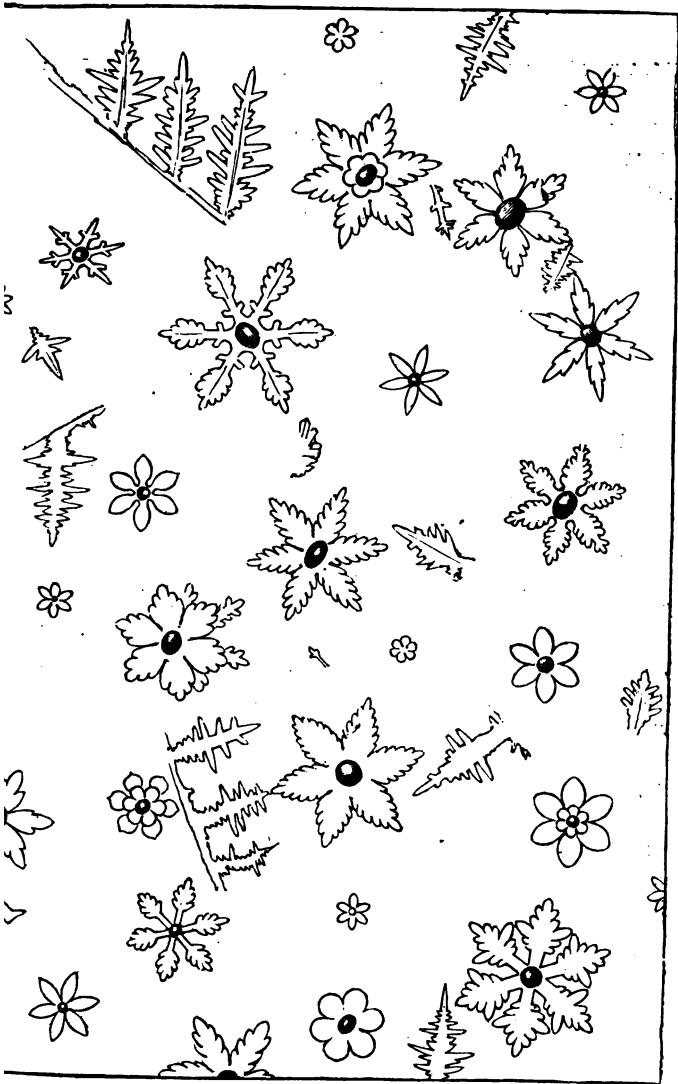


Fig. 28.

tense qu'eût pu être l'effluve de chaleur rayonnante. Si nous en avons le temps dans notre prochaine séance, je vous montrerai qu'on peut faire bouillir de l'eau avec des rayons de chaleur qui ont traversé du bisulfure de carbone, sans que le bisulfure lui-même soit mis en ébullition, bien qu'il bouille à une température moins élevée que l'eau.

J'ai donc établi que les différents corps, solides ou liquides, sont très-inégalement perméables aux rayons de chaleur. Or, les substances qui absorbent la chaleur, au lieu de lui livrer passage, deviennent chaudes par cette absorption. La glace est un corps extrêmement opaque aux rayons calorifiques, et qui laisse passer assez librement les rayons lumineux. Je vais placer un morceau de glace sur le trajet d'un rayon émis par notre lampe électrique, rayon à la fois de lumière et de chaleur. La glace arrêtera la plus grande partie de la chaleur, et cette chaleur arrêtée élèvera sa température. Mais la température de la glace ne peut s'élever au-dessus de 0° cent. sans qu'elle fonde; la chaleur logée dans la glace aura donc pour effet de la liquéfier. Cette liquéfaction aura lieu à l'intérieur, et je tiens à vous montrer tout ce qu'il y a de beau, d'admirable dans cette substance que vous foulez aux pieds tout l'hiver, sans même soupçonner les merveilles de sa structure intime.

Le rayon de chaleur et de lumière qui pénètre dans la glace la dissèque en quelque sorte, isole les cristaux individuels, et vous voyez combien sont élégantes et variées les formes cristallines dans lesquelles la glace se résout. Ce sont généralement des fleurs composées de six pétales. Pour les rendre distinctes à vos yeux, je suis obligé de les amplifier beaucoup, en projetant sur un écran leur image agrandie. La lampe électrique est placée dans la tribune, afin d'augmenter sa distance à l'écran, et par conséquent les dimensions des images. Mon préparateur s'est armé d'une

lentille, il va maintenant prendre un morceau de glace dont il rendra la surface bien unie en le posant sur un corps chaud, et il le dressera ensuite sur le passage du rayon. La glace prise sur le lac Wenham a été taillée parallèlement à la surface même du lac ou au plan de congélation. (Après quelques instants, l'image des fleurs commence à se dessiner sur l'écran.) De toutes les expériences que j'ai faites, je n'en connais pas de plus délicieuse et de plus brillante que celle-ci. Les fleurs deviennent de plus en plus grandes, vous voyez d'abord poindre les feuilles, puis se former la rosace qui apparaît au centre. Ces taches que vous voyez sont des vides provenant de ce que l'eau occupe moins d'espace que la glace. La glace a plus de volume que l'eau qui a servi à la former ; donc , lorsqu'elle se fond , l'eau ne remplit pas le lieu qu'elle occupait , et il se forme des vides indiqués par ces taches. Voici que l'écran est glorieusement parsemé de fleurs. Chaque particule de glace a pris cette forme charmante. Le spectacle s'est longtemps fait attendre ; mais avouez que votre patience est complètement récompensée.

SIXIÈME LEÇON

Réflexion , réfraction et absorption de la chaleur rayonnante. — La chaleur du soleil. — Rayons visibles et invisibles. — Séparation des rayons de lumière et des rayons de chaleur.

Dans notre dernière séance je me suis efforcé de vous expliquer la loi suivant laquelle la chaleur rayonnante se réfléchit. Dans ce but, je me suis servi de termes que, peut-être, vous avez peine à vous rappeler. Je vous ai dit que l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence; de sorte que, si vous supposez que la surface de cette table (fig. 27, p. 103), cd soit la surface réfléchissante, qu'un rayon de lumière ea rencontre cette surface au point a , et que cette tige rectiligne ab soit perpendiculaire à la même surface, le rayon est réfléchi suivant une direction af , qui s'écarte de la perpendiculaire vers la droite, exactement autant que ea s'en écarte vers la gauche. C'est ce qu'on exprime en disant que l'angle de réflexion h est égal à l'angle d'incidence g .

Maintenant j'appelle votre attention, pour un moment, sur la réflexion de la lumière ou de la chaleur rayonnante, non plus, comme d'abord, par des plans ou surfaces planes, mais par des surfaces courbes. J'ai ici une surface de cette nature, un grand miroir appelé miroir concave; c'est une portion

de sphère, une calotte sphérique, comme détachée par un instrument tranchant. Concevons qu'un faisceau de rayons lumineux tombe d'aplomb sur ce miroir; comme tout est symétrique par rapport à l'axe du miroir, que partout, sur sa surface, les grands cercles dont les plans passent par l'axe ont la même inclinaison, les rayons seront réfléchis tous dans des directions telles, qu'ils iront converger en un même point. Je tiens à vous faire voir que les rayons de lumière, ainsi réfléchis par un miroir concave, se réunissent en effet en un point qu'on nomme *foyer*. Je fais donc arriver d'aplomb sur le miroir un faisceau de lumière électrique. Vous ne pouvez pas voir la lumière elle-même, mais seulement les corps qu'elle éclaire. Dans cette salle, comme ailleurs, surtout au sein des grandes villes, telles que Londres, l'air contient une quantité considérable de poussière et de corps flottants, et les rayons éclairent ceux de ces corps qui se trouvent sur leur passage; ces traces lumineuses vous permettront de suivre la marche des rayons réfléchis et de les voir se réunir au foyer. Vous constatez qu'il en est ainsi, effectivement; le cône lumineux est très-visible. Si j'en avais le temps, je vous démontrerais que ce fait est une conséquence nécessaire de la loi ci-dessus énoncée, de l'égalité entre les angles d'incidence et de réflexion.

J'ai à vous prouver maintenant que les rayons de chaleur ne sont pas réfléchis autrement que les rayons de lumière. Dans ce but, j'emploierai, non pas un simple miroir, mais deux miroirs appelés *miroirs conjugués*, et suspendus l'un au-dessus de l'autre. J'emprunte une belle lumière électrique à une pile de 50 éléments, et je place cette source de vive lumière au foyer de ce miroir; les rayons seront réfléchis verticalement de bas en haut; ils seront en outre parallèles entre eux, et composeront une sorte de cylindre

droit, pourvu toutefois que le miroir qui les réfléchit soit bien horizontal. Maintenant, observez ce qui se passe. Les rayons de lumière tombent d'abord sur le miroir inférieur; ils sont renvoyés verticalement, et forment un cylindre lumineux; ce cylindre rencontre le miroir supérieur, qui leur fait subir une nouvelle réflexion, et les fait converger de nouveau en un certain point, c'est-à-dire à son foyer. Comme tous les volets sont fermés, l'obscurité de la salle fait ressortir d'une manière très-distincte ces diverses phases de la marche des rayons, par les traces lumineuses que produisent les poussières et les autres corps flottants dans l'air. Si je plaçais la source de lumière électrique au foyer du miroir supérieur, ce serait au foyer du miroir inférieur que viendraient se réunir les rayons deux fois réfléchis. Remplaçons actuellement la lumière par la chaleur. Je prends, à cet effet, un ballon plein d'eau bouillante et je le place au foyer du miroir supérieur, de manière qu'il y reste suspendu. Qu'en résulte-t-il? Les rayons de chaleur qui émanent de cette eau et qui vont frapper la surface du miroir supérieur, sont réfléchis vers le miroir inférieur; celui-ci, à son tour, les renvoie et les concentre à son foyer. Vous ne pouvez pas les suivre des yeux comme les rayons de lumière, mais j'espère bien que notre belle pile thermo-électrique nous fournira les moyens d'y suppléer et de constater que les choses se passent réellement ainsi. Je place donc la pile au foyer du miroir inférieur, la face tournée, non en haut, du côté de l'eau chaude, mais en bas. Vous voyez que, à l'instant même, l'aiguille accuse une élévation de température, causée par la chaleur que le miroir a réfléchi et concentrée en son foyer. Tournons la face de la pile vers la région froide de la salle pour lui faire perdre la chaleur qu'elle a reçue, et substituons à la boule d'eau chaude un corps tout à fait différent, non plus chaud, mais froid;

c'est-à-dire, que je place au foyer du miroir supérieur un mélange réfrigérant et que j'opère avec la pile électrique, comme je l'ai fait lorsqu'il s'agissait de la boule d'eau. Vous voyez que l'aiguille marche dans la direction du froid ; elle arrive, sur le cadran, au point extrême de refroidissement. Comment interpréterons-nous ce résultat ? Je parierais que plusieurs de mes jeunes auditeurs en ont déjà tiré cette conclusion : qu'il y a des rayons de froid comme il y a des rayons de chaleur ; que ces rayons froids sont partis du mélange réfrigérant comme les rayons de chaleur partaient de la boule d'eau chaude. Telle n'est pas, cependant, la vérité. Dans le cas actuel, où nous plaçons à l'un des foyers un mélange réfrigérant, le corps chaud est la pile thermo-électrique placée à l'autre foyer. La pile est, en effet, un corps chaud, relativement au réfrigérant ; elle rayonne de la chaleur vers le miroir inférieur. Cette chaleur, renvoyée vers le miroir supérieur, est réfléchiée par celui-ci vers le corps froid, lequel l'absorbe tout entière et pourrait encore en absorber beaucoup d'autre. La pile doit donc perdre sans cesse de nouvelle chaleur, et ainsi s'explique le refroidissement indiqué par l'aiguille.

Enfin, je vais placer au foyer du miroir un corps qui sera chauffé jusqu'au rouge éclatant ; c'est une boule de cuivre soumise, en ce moment, au feu d'un fourneau, dans le laboratoire voisin. Cette boule de cuivre, à l'état d'incandescence, sera substituée au mélange réfrigérant, et nous aviserons quelque moyen de constater son rayonnement. Pour cette expérience, il ne me convient pas d'employer la pile thermo-électrique ; mais j'ai ici du papier noir, et, s'il est placé au foyer inférieur, peut-être s'échauffera-t-il assez pour donner de la fumée. Je procède à l'expérience. La boule de cuivre n'est pas assez chaude pour que le papier donne le moindre signe de combustion ; cependant, je sens

avec la main que la chaleur, au second foyer, est très-forte; ma main ne pourrait la supporter longtemps. Hier, dans la même expérience, le papier fumait abondamment. Si je mets au même foyer, pour un instant, la face de la pile thermo-électrique, le mouvement subit de l'aiguille met immédiatement en évidence la concentration de chaleur produite en ce point par la double réflexion des rayons.

Examinons maintenant de plus près ces rayons de chaleur; mais, auparavant, permettez-moi de vous dire en quoi consiste cette merveilleuse lumière que nous avons si souvent mise en jeu. Je vais prendre un mince filet de cette lumière et la forcer à se révéler à vous. Dans ce but, abaissons un peu l'écran et fermons les volets, afin que la salle soit complètement obscure. Comme vous le voyez, notre filet de lumière électrique marque lui-même sa route à travers les corpuscules flottants de l'atmosphère, et, après avoir passé par une lentille, il dessine sur l'écran une jolie bande lumineuse. Cette bande résulte de la superposition de diverses couleurs. En mettant un prisme sur le trajet du rayon lumineux, qui le traversera, je le ferai dévier de sa route, en même temps que je séparerai les uns des autres les divers rayons colorés. Je n'interpose d'abord qu'un seul prisme, qui nous donne, sur l'écran, cet éventail de couleurs si merveilleux et si riche. On ne peut, en réalité, rien imaginer de plus agréable à l'œil et de plus beau; mais je puis étaler plus encore les couleurs, en augmentant la déviation du faisceau lumineux, en le forçant à traverser un second prisme. Voici que le faisceau a passé à travers les deux prismes et peint, très-étalé sur l'écran, ce qu'on a appelé un *spectre lumineux*. Ce fut une des grandes découvertes d'Isaac Newton, qui prouva ainsi que la lumière blanche est composée de sept couleurs principales. Je pourrais vous faire voir, si les étroites limites de ces leçons le permettaient, qu'en

réunissant ces mêmes rayons, qu'en les faisant converger de nouveau vers un même point, ou mieux, en les concentrant sur une même bande, on reproduit de la lumière blanche. Je fais allumer le gaz, et vous remarquerez, à cette occasion, combien le spectre perd de sa clarté quand il est éclairé par une lumière étrangère. J'ai besoin de la lumière du gaz pour choisir parmi vous quelque jeune garçon au visage frais et coloré. (Sur l'invitation du professeur, un élève s'avance vers l'écran, et le gaz est éteint.) Vous allez voir ce que deviendront les joues de ce beau garçon, quand elles seront placées dans les diverses couleurs du spectre. D'abord, dans les rayons rouges, elles resplendissent comme une rose écarlate; mais les voici maintenant dans les rayons jaunes, et la teinte est toute différente de celle d'une rose.

Il est indispensable que je vous dise quelques mots de plus de ce merveilleux spectre. Vous voyez sur l'écran une grande masse de lumière, et vous pensez peut-être que cette lumière est tout ce qui nous vient de l'admirable lampe électrique; ce serait une erreur. Ces couleurs splendides couvrent un espace considérable, sans doute, et cet espace devient ainsi visible pour nos yeux; mais, en dehors des limites du spectre visible, il est des rayons qui, sous d'autres rapports, ont une grande importance. Il y en a au-delà du rouge, et la radiation la plus puissante de la lumière électrique ne correspond nullement au spectre visible; elle est aussi éloignée du rouge extrême d'un côté, que le vert de l'autre. Il en est de même de l'autre extrémité du spectre: il existe au-delà du violet extrême un groupe très-étendu de rayons; mais les rayons ultra-violets, comme les rayons ultra-rouges, sont impuissants à produire la vision, alors même qu'ils frappent en grand nombre la rétine. Je tiens à vous rendre parfaitement manifeste le prolongement du spectre au-delà de ses limites apparentes, et, dans ce but,

je vais réduire ses dimensions. Nous l'avions agrandi en plaçant sur son trajet deux prismes liquides, nous ferons usage de prismes de verre ou mieux d'un seul prisme liquide. Le spectre actuel est ainsi produit avec un seul prisme. Nous pourrions, comme sir W. Herschel, lorsqu'il découvrit pour la première fois les rayons obscurs du soleil, placer un thermomètre dans la région obscure au-delà du rouge; nous constaterions une élévation de température due aux rayons de chaleur de la lumière électrique que le prisme y a étalés. Si, avec ce même thermomètre, nous explorions le spectre depuis le rouge extrême jusqu'au violet extrême, nous verrions le thermomètre descendre de plus en plus; et en revenant sur nos pas, nous le verrions monter de nouveau en traversant le violet, le bleu, le vert, le jaune, l'orangé et le rouge qui est la partie la plus chaude du spectre visible. Mais sir W. Herschel ne s'arrêta pas là et fit une grande découverte. Il constata que le thermomètre continuait à monter bien au-delà du rouge. Il représenta les températures des divers points du spectre par des lignes droites, perpendiculaires à une même droite horizontale : la plus faible, celle du violet, par une très-petite ligne; celles du bleu, du vert, du jaune, etc., par des lignes de plus en plus longues, etc., et montra aux yeux, par une courbe ainsi tracée, la radiation entière du spectre solaire. Nous avons aujourd'hui des méthodes beaucoup plus sûres. Avec le secours de la lampe électrique et de la pile thermo-électrique, dont nous plaçons successivement la face au sein des diverses couleurs, nous atteignons le même but avec plus de précision. Toute la radiation de la portion visible du spectre est représentée par la petite surface colorée que vous voyez sur cette planche; mais, au-delà du rouge, la grande hauteur des lignes, cette sorte de pic très-élevé annonce un prodigieux accroissement de chaleur.

La partie invisible du spectre est égale à près de huit fois sa partie visible ; c'est-à-dire qu'un huitième seulement des rayons émis par la lumière électrique est apte à produire la vision ; tout le reste sont des rayons de chaleur, et non plus de lumière.

Il faut encore que nous examinions le prolongement du spectre vers l'extrémité opposée, c'est-à-dire au-delà du violet ; et, dans ce but, j'emploierai un prisme de flint glass, au lieu du prisme en bisulfure de carbone. Je place le prisme de flint exactement comme dans le premier cas. Les couleurs étalées ne sont plus aussi brillantes, mais le verre est ici préférable au sulfure de carbone, parce qu'il est plus transparent pour les rayons de la nature de ceux que nous voulons étudier. Voici une substance appelée sulfate de quinine, et un écran de papier blanc qui a été imbibé de cette substance avant la leçon. M. le professeur Stokes a trouvé que ce sulfate de quinine a le pouvoir extraordinaire de rendre visibles les rayons invisibles situés au-delà du violet. Voyez, en effet, cette jolie bande colorée devenue visible, au-delà du violet, sur l'écran préparé avec le sulfate de quinine, et qui redevient invisible quand on reçoit le spectre sur un autre écran. Si je prends le liquide lui-même, et que j'en répande un peu sur une feuille de papier, il rendra visibles les rayons invisibles. J'ai sous la main un autre moyen de modifier la couleur des rayons, et de rendre visibles les rayons invisibles ou presque invisibles. Voici une feuille de papier sur laquelle ont été tracés avec le liquide les mots *Bonne année*. Tant qu'elle est exposée à la lumière ordinaire, on n'y aperçoit rien ; mais, si on la recouvre d'un verre violet, les lettres apparaissent magnifiquement.

C'est assez parler des rayons situés les uns au-delà du rouge, les autres au-delà du violet, et qui sont impropres à exciter la vision. On les nomme *rayons invisibles*. Avant d'aller

plus loin, je suis bien aise d'expérimenter devant vous avec ces diverses poudres. M. le professeur Stokes a nommé *fluorescence* l'action qui rend visible le sulfate de quinine. Ce phénomène de la fluorescence est connu depuis longtemps des physiciens, mais sous une autre forme : la *phosphorescence*. On avait observé que certaines substances ont la propriété d'absorber, de boire pour ainsi dire la lumière, et de la restituer ou de l'émettre de nouveau graduellement. M. Edmond Becquerel a rendu son nom célèbre par ses belles recherches sur ce sujet ; c'est lui-même qui a fait le choix des poudres dont je vais me servir ; il les a données à sir Charles Wheatstone, qui a eu l'obligeance de m'en céder une partie. Je vais vous montrer que, si ces poudres sont exposées pendant quelques instants à la lumière de notre lampe électrique, et qu'on éteigne ensuite la lampe, elles continueront à être lumineuses ; elles émettront lentement la lumière dont elles se seront, en quelque sorte, imprégnées. [Les poudres sont exposées à la lumière électrique, et ensuite la lumière est éteinte.] Vous voyez que ces poudres sont devenues lumineuses [par elles-mêmes ; elles émettent une belle lumière. Voici l'image d'un papillon, formée avec ces poudres ; elle est peinte sur verre ; cette image toutefois n'est pas visible ; vos yeux n'aperçoivent rien à la surface du verre. Mais, si je présente le verre aux rayons du soleil ou de la lumière électrique, et que les poudres en subissent l'action pendant quelques minutes, vous verrez apparaître l'image, formée par l'émission des rayons dont les poudres se seront pénétrées pendant la durée de leur exposition. [On procède à l'expérience, et le résultat est celui que le professeur avait annoncé.] Ce beau papillon atteste l'efficacité des poudres fluorescentes choisies par M. Edmond Becquerel.

J'ai eu l'occasion de vous dire une fois ou deux dans ces

reçons qu'aucun corps dans la nature n'est absolument froid. Tous les corps sont plus ou moins chauds. La glace elle-même est un corps chaud, comparée à l'acide carbonique solide. La glace en réalité pourrait faire bouillir un mélange d'acide carbonique et d'éther, car elle est très-chaude relativement à ce mélange. Tous les corps sont chauds, et tous émettent des rayons de chaleur. Voici, devant la table, un fil de platine semblable à celui sur lequel nous avons déjà opéré. En ce moment, ce fil de platine émet des rayons de chaleur d'une nature parfaitement définie. Si je le mets dans le circuit de notre pile, nous referons notre ancienne expérience. Vous voyez le fil chauffé au rouge ; il émet des rayons de chaleur, et aussi, jusqu'à un certain degré, des rayons de lumière. Avant le passage du courant électrique, le fil émet des rayons de chaleur incapables de produire la sensation de la vision. Quand nous élevons la température du fil, en y faisant passer le courant électrique, que deviennent les rayons de chaleur qu'il émettait précédemment à l'état invisible ? Ils persistent encore, et deviennent même bien plus intenses, mais ils sont toujours obscurs ; nous ajoutons la radiation lumineuse du fil rougi, à la radiation obscure qui en émanait avant qu'il devint incandescent. Si nous raccourcissons graduellement le fil, comme dans une expérience que nous avons faite au commencement de ces leçons, nous le voyons devenir de plus en plus brillant, sans que les rayons qu'il émettait avant qu'il fût porté à la chaleur rouge cessent d'être mêlés à la radiation visible. Ils continuent d'exister, mais rendus incomparablement plus intenses ; de sorte que les rayons qui émanaient du fil avant qu'il devint incandescent existent maintenant, aussi bien que les rayons visibles, avec une intensité mille fois plus grande que celle qu'ils possédaient d'abord. Ils sont encore obscurs, et ils n'ont pas le pouvoir d'exciter la vision ; néanmoins ils sont

là avec leur intensité première, devenue mille fois plus grande. Je vais maintenant essayer de séparer devant vous ces rayons lumineux des rayons obscurs, et je tâcherai d'opérer sur les rayons obscurs de manière à vous faire voir quelques-uns des effets qu'ils peuvent produire. Je pense que vous comprendrez tous comment cela peut se faire. Prenons ce petit miroir concave; plaçons-le derrière la lampe électrique. Nous aurons de cette manière une image des pointes de charbon de la lampe, image que je vais projeter sur l'écran. Voici, en effet, projetée sur l'écran, l'image des pointes de charbon, d'où émane la lumière électrique. En prenant un second miroir concave, et faisant par son moyen converger de nouveau les rayons, je réussirai à vous donner une image plus grande, qui sera peut-être mieux vue. Voici cette image agrandie, mais renversée, des pointes de charbon. Vous voyez là une quantité considérable de lumière. Mon préparateur va maintenant remplir un vase d'un liquide opaque à la lumière. Notre solution opaque sera formée de bisulfure de carbone, liquide parfaitement transparent, dans lequel nous ferons dissoudre une substance appelée iode, bien connue des chimistes et de beaucoup d'autres personnes. Le bisulfure de carbone dissout l'iode avec une grande facilité, en donnant naissance à ce liquide de couleur foncée, si prodigieusement opaque qu'il intercepte la lumière du soleil en plein midi. Chose étonnante ! cette substance singulière, qui a la propriété d'intercepter entièrement les rayons lumineux et visibles qui font naître les couleurs étalées sur l'écran, se laisse traverser par tous les rayons de chaleur. Ce liquide est opaque pour la lumière, mais parfaitement transparent pour la chaleur rayonnante. Mon préparateur va placer une lentille devant la lampe électrique, pour nous procurer ce beau faisceau convergent ou cône de lumière, qui, traçant

son passage à travers la poussière de la salle, ira tomber sur la pile thermo-électrique ; de plus, il mettra, quand je le lui dirai, le vase contenant le liquide opaque sur le trajet de la lumière électrique. Il interceptera ainsi toute lumière ; mais le point où la pile est placée restera très-chaud. (On met alors en place le vase et la pile.) Vous voyez que toute la lumière est supprimée ; mais vous remarquez que l'aiguille marche aussitôt ; ce qui prouve que, quoique la lumière soit interceptée, les rayons de chaleur ont passé.

Jé vais essayer de rendre plus évidents pour vous ces rayons de chaleur. Pour cela, j'installe dans cette boîte une lampe électrique semblable à celle dont je viens de me servir, et, derrière le foyer lumineux, un miroir argenté. Ce miroir réfléchira les rayons de lumière de la lampe électrique, et les fera sortir par l'ouverture que vous voyez en avant. Cette ouverture est fermée par une plaque de sel gemme. Le sel gemme est extrêmement transparent pour les rayons de chaleur et aussi pour les rayons de lumière ; et c'est pour cela que je me sers de cette substance. Nous produisons de nouveau le faisceau convergent de lumière électrique, et vous revoyez dans l'espace le cône brillant de ses rayons. Mon préparateur va dresser sur son passage la solution opaque. La voilà qui intercepte toute la lumière, de sorte que vous ne voyez rien. Mais je vais placer ce morceau de platine de l'autre côté du liquide opaque, et regardez ce qui arrive : le platine est porté à la chaleur rouge, dans une atmosphère tout à fait obscure. Si, au lieu de platine, je prends du papier sec, et que je le tiens au foyer des rayons obscurs, vous voyez que je puis allumer ce papier. (Le papier prend feu) Cette ignition est produite par les rayons invisibles de chaleur qui émanent de la lampe électrique. Je prends maintenant un morceau épais de métal, et je le place au foyer des rayons de la chaleur obscure : vous voyez

qu'il fond par la chaleur rayonnante, et qu'il tombe à l'état liquide. Je vais maintenant brûler un morceau de zinc. Voilà le zinc qui brûle, en effet, dans un lieu où régnait une obscurité complète. L'air au sein duquel le zinc brûle n'est point du tout échauffé. Rien ne serait plus aisé que d'allumer un cigare de cette manière dans une parfaite obscurité. En voici un, vous voyez qu'il prend feu instantanément dans un endroit où il n'y a absolument aucune lumière. Vous pourriez placer votre œil au point où le platine a été porté à la chaleur rouge, sans y rien voir. En effet, j'ai approché avec précaution mon œil de ce foyer obscur et brûlant, j'ai fait tomber ses rayons sur ma rétine, sans voir de lumière et sans sentir de chaleur. La rétine était parfaitement insensible à ces rayons si puissants. Quelquefois nous obtenons la combustion du magnésium par ces rayons ; voici, en effet, que ce beau métal s'est enflammé dans un endroit où l'œil ne voyait aucune lumière, au sein des ténèbres les plus profondes. Je pourrais mettre Londres en feu avec ces rayons obscurs. Voici un vase de verre contenant du gaz oxygène ; j'y plonge un morceau de charbon ; je place maintenant ce charbon, toujours plongé dans le gaz, au foyer des rayons de chaleur, et vous voyez qu'allumé par les rayons obscurs, il brûle dans l'oxygène avec un vif éclat.

Je vais encore faire une ou deux expériences du même genre. Pour cela, je reprends le miroir dont je viens de me servir, et je l'installe en arrière du foyer lumineux d'une autre chambre obscure placée à l'extrémité de la table. Le miroir réfléchira, et enverra le long de la table un faisceau de lumière. Au lieu de diriger ce faisceau du côté de l'auditoire, ce qui vous incommoderait, je vais le recevoir sur un second miroir, et le réfléchir comme était réfléchi, dans une des expériences sur la lumière, le rayon reçu par le miroir du plafond.

Plusieurs d'entre vous peuvent voir la réflexion intense qui se produit ici : voilà un foyer qui vous brûlerait terriblement les doigts si vous les y mettiez. Je suis sûr que nous pourrions y allumer du papier. Vous voyez, en effet, que le papier s'y allume instantanément ; et cet embrasement est produit, non par les rayons lumineux, mais seulement par les rayons obscurs. Cependant l'air en contact avec le foyer de chaleur ne s'échauffe pas ; c'est seulement lorsqu'on place au foyer un corps solide, que la chaleur est produite. Nous pouvons brûler du zinc ici, comme je l'ai fait dans les rayons obscurs. Vous voyez qu'il prend feu, et s'enflamme presque comme un morceau de papier. Voici un petit vase qui contient de l'eau ; je le place au foyer des rayons, et, en même temps, je dresse en avant un second vase d'eau, que la lumière devra traverser avant d'arriver au premier. Ce second vase interceptera les rayons obscurs qui donnent de la chaleur, quoiqu'il n'arrête pas sensiblement les rayons de lumière. Le foyer des rayons tombe actuellement sur le premier vase d'eau, sans qu'il se produise aucun effet sur elle. Je vais maintenant retirer le second vase d'eau, que traverse le faisceau avant d'arriver au premier ; je laisserai ainsi passer les rayons de chaleur, et vous verrez que l'eau du vase placé au foyer des rayons commencera aussitôt à bouillir. Dans quelques instants, cette eau sera dans un état de violente ébullition. La voilà qui déjà bout. Cette action est due, non aux rayons de lumière, mais uniquement aux rayons obscurs et invisibles de chaleur dont je vous ai parlé.

Dans ces expériences, j'ai surtout en vue de vous faire bien comprendre ce fait : que nous devons toutes nos rivières, tous nos glaciers et toutes nos neiges, entièrement ou presque entièrement, à ces rayons obscurs. Les rayons lumineux ou brillants du soleil tombent sur l'océan des tropiques et y pénètrent à de grandes profondeurs, sans être à

peine absorbés ; mais les rayons non lumineux sont absorbés très-près de sa surface. C'est par l'absorption de ces rayons obscurs que l'eau a été mise en ébullition dans la dernière expérience. Ces rayons obscurs du soleil, qui frappent l'océan des tropiques et sont aussitôt absorbés, élèvent la température de la surface de l'océan, et c'est ainsi qu'est produite toute l'humidité ou toute la vapeur que l'air chaud emporte avec lui dans l'espace.

Et maintenant, je le dis à regret, nous sommes arrivé à la fin de notre tâche. Je vous ai fait l'aveu, en commençant, que j'aurais beaucoup désiré confier à un autre le soin de donner ces leçons, parce que j'étais tellement occupé que je craignais ne pas les faire aussi bien que j'aurais voulu. Aujourd'hui, je suis heureux de les avoir entreprises ; car elles m'ont procuré l'agrément de vous revoir de temps en temps. Vous avez suppléé, par votre attention, au défaut de préparation du professeur ; je vous en remercie cordialement et vous souhaite de tout mon cœur une heureuse nouvelle année.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

	Pag. ^{es} .
Nature de la chaleur et divers moyens de l'engendrer.....	1
Le moi humain, les nerfs, leur vitesse de transmission.....	2
Nature et idée du mouvement moléculaire.....	3
Chaleur, mode de mouvement.....	4
Chaleur engendrée par le frottement.....	5
Feu produit par les sauvages.....	6
Vaporisation et fusion par le frottement.....	7
Chaleur engendrée par la percussion.....	9
Chaleur engendrée par le briquet sur la pierre à fusil.....	10
Combustion du fer dans l'air.....	11
Propriétés de l'oxygène et de l'hydrogène.....	13
Chaleur née de la combustion.....	14
Nature combustible du diamant.....	15
Dilatation produite par la chaleur.....	16
Incandescence d'un fil de platine; irradiation.....	17
Dilatation inégale des corps solides.....	18
Preuve frappante de la dilatation produite par la chaleur.....	19
Force d'expansion produite par la congélation de l'eau.....	21
Théorie de la combustion.....	23
Combustion dans un air raréfié.....	24
Nature et constitution de la flamme.....	25
Brûleur de Bunsen.....	26
Combustion lente ou oxydation.....	27
Force de contraction engendrée par le froid.....	28
Coefficient de dilatation.....	29
Dilatation des liquides.....	30
Dilatation des gaz. Thermomètre à air.....	31
Thermomètres à mercure.....	32
Visibilité de l'air chaud.....	34
Ballon de Montgolfier.....	35
Ebullition et vaporisation de l'eau.....	36
Vaporisation par le vide, par le froid.....	37
Composition et production artificielle de l'eau.....	38
Différence entre les gaz et les vapeurs.....	39
Solidification et incrustation.....	40
Glace flottant sur l'eau.....	42
Maximum de densité de l'eau.....	43
Nature et formation des vents alisés.....	44
Chaleur produite par la compression de l'air.....	45
Froid produit par la dilatation de l'air.....	46
Condensation subite de la vapeur par refroidissement, par raréfaction de l'air.....	48

Structure admirable de la neige.....	49
Glaciers et Mer de glace.....	51
Mobilité des glaciers, écoulement de la glace.....	52
Progression incessante des glaciers; moraines.....	54
Régélation.....	55
Plasticité de la glace.....	56
Geysers d'Irlande, leur description.....	58
Stockur, sa description.....	60
Hauteur des éruptions des geysers.....	61
Température du geyser à diverses profondeurs.....	62
Théorie ou explication du geyser.....	63
Jeunesse, âge mûr, vieillesse et mort du geyser.....	68
Kilogrammètre; équivalent mécanique de la chaleur.....	70
Travail extérieur et intérieur ou moléculaire.....	71
Chaleur spécifique et capacité des corps pour la chaleur.....	72
Moyen de mettre en évidence le chaud ou le froid.....	74
Froid produit par la vaporisation.....	75
Chaleur dégagée dans la cristallisation.....	76
Eau congelée par la seule vaporisation.....	78
Propagation de la chaleur.....	79
Convection, conduction.....	80
Lampe de sûreté.....	82
Vapeur à l'état sphéroïdal.....	84
Belle expérience de vapeur sphéroïdale.....	85
Acide carbonique congelé par la dilatation.....	87
Brillantes expériences avec l'acide carbonique.....	88
Congélation de l'eau et du mercure au sein d'un foyer ardent....	90
Radiation des corps et chaleur rayonnante.....	91
Mécanisme de la radiation dans l'air et le vide.....	92
Flammes dansantes et chantantes.....	93
Expériences diverses sur la chaleur rayonnante.....	94
Radiation empêchée par une feuille métallique.....	100
Lois de la réflexion de la chaleur.....	102
Radiation et absorption.....	104
Constitution intime de la glace.....	104
Réflexion de la chaleur sur des surfaces courbes; miroirs conjugués	109
Réflexion apparente du froid.....	111
Composition de la lumière; spectre solaire.....	112
Rayons obscurs, au-delà du rouge et du violet.....	113
Radiation complète du spectre.....	114
Fluorescence et phosphorescence.....	115
Chaleur et lumière. Séparation.....	116
Foyer obscur; ses effets de combustion.....	119
Rôle des rayons obscurs dans la nature.....	120
Conclusion et adieux.....	122

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

PARIS. — TYP. WALDER, RUE BONAPARTE; 44.

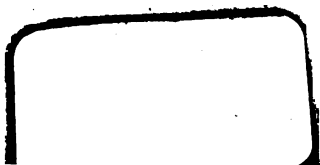




**This book should be returned to
the Library on or before the last date
stamped below.**

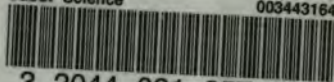
**A fine of five cents a day is incurred
by retaining it beyond the specified
time.**

Please return promptly.



Phys 2430.1.25
Chaleur et froid :
Cabot Science

003443164



3 2044 091 957 522